T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLERDE TREN SEYİRLERİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Umut SUVAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Programı

Danışman

Prof. Dr. İsmail ŞAHİN

Şubat, 2020

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLERDE TREN SEYİRLERİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Umut SUVAR tarafından hazırlanan tez çalışması 20.02.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı İnşaat Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İsmail ŞAHİN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. İsmail ŞAHİN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Güzin AKYILDIZ ALÇURA, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. İsmail ŞAHİN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Kentiçi Raylı Sistemlerde Tren Seyirlerinin İstatistiksel Analizi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Umut SUVAR

İmza

Aileme

TEŞEKKÜR

Ulaştırma Mühendisliği'ni seçmemde en etkili insan olan İsmail ŞAHİN Hocam'ın bana tez danışmanlığı yapma konusundaki teklifime 'evet' demesiyle heyecanlı bir sürece girdim. Demiryolu taşımacılığına ilgim olmasına rağmen, bilgi eksikliğimden dolayı çalışacak konu bulamayınca, gürültü kirliliği üzerine çalışmak istedim. Fakat İsmail ŞAHİN Hocam'la görüşmelerimiz sırasında demiryolu işletiminde planlamalar konusunu söyleyince çok sevindim. Bu alanda dünya çapında birçok çalışma olmasına rağmen ülkemizde çok kısıtlı çalışmalar yapıldığını fark ettim. Bu beni korkutmak yerine daha da heyecanlandırdı. Benden sonra bu konular hakkında çalışmalar yapacak olan kişilerin çalışmamdan faydalanacak olması fikri beni daha da cesaretlendirdi.

Her şeyden öte özel hayatımı bilen insanlar çok iyi bilir ki, ben hayatımı insanları anlamaya ve onlarla iletişim kurmaya adamış biriyim. Bunun için yıllarca çok sayıda kitap okudum, sanatla ilgilendim, insan tanıdım, her insanın 'bir alem' olduğunu ve onları tanımaktan öte bir hayat amacı olmadığını düşündüm. Bu yolda çok acı çektim ve insanları anlamakta çok zorlandım ve sonunda tüm bilgilerime, tecrübeme ve aklıma rağmen sonuç hüsran oldu. İnsanların hareketleri belirsizdi ve ben o belirsizliği çözemedim. İsmail Hocam ise en temelde konumuzun ''tren hareketlerindeki belirsizlikler'' olduğunu söyledi. Yıllarca insan hareketlerindeki belirsizliği çözemeyen bir adam olarak konu bana çok ironik geldi. Ve yaşadığım hüsran sonucunda, insan hareketlerindeki belirsizliği çözmeye çalışıp, boşa kürek çekmektense, tren hareketlerindeki belirsizliği çözüp en azından insanlığa bir faydam olsun istedim.

Çalışmamızın başında trengraf adı verilen çizelgelerden gerçekleşen tren hareketlerini okumak oldukça zahmetli ve sabır gerektiren bir süreçti. Bu okumalardan çıkan sonuçların bilgisayara aktarılması, grafiklerin çizilmesi, o grafiklerin yorumlanması ise zahmetli olduğu kadar çok da zevkliydi. Özellikle grafiklerin yazıya dökülmesi aşamasında, tez, tabiri caizse ete kemiğe bürünmeye başladı ve çalışmalarımız sonucunda, ortaya yıllarca saklı kalan bir konunun gün yüzüne çıktığına şahit olmak çok sevindiriciydi.

Filozofların babası olan Sokrates: ‘’Bildiğim bir şey varsa o da hiçbir şey bilmediğimdir.’’ Bu cümleyi yıllardır biliyordum, fakat kullanırken inanmadan söylüyordum. Tezin sonunda ise şunu anladım: Yüzlerce bilim dalından mühendislik bir dal; mühendislikten, inşaat mühendisliği bir dal; o dal birçok kollara ayrılıyor, ulaştırma bir kol; ulaştırmada ise birçok şehir varken biz İstanbul’u çalıştık, İstanbul’da çeşitli demiryolu hatları varken, bir tanesini inceledik, incelediğimiz hatta, ana istasyonları ele aldık, o istasyonların 365 gününün, 10 günlük hareketi ve 24 saatin, zirve saatlerini inceledik ve örneklerle açıkladık. Buna rağmen çalışma yaklaşık 100 sayfa tuttu, burada asıl anladığım, bilginin sonsuzluğu ve bir derya deniz olduğu ve bizim orada bir damla bile olmadığımız ve amacımızın sadece safımızı belli etmek olduğunu anladım. Cehaletimizin boyutunu ve aslında insanlık olarak ne kadar az şey bildiğimizi idrak ettim. Yıllarca hep söylediler: ‘’Okudukça, insan, ne kadar az şey bildiğini farkediyor.’’ diye, master sonunda konuda uzmanlaşacağımı zannederken cehaletimin boyutunu anladım.

Hocam’la tez boyunca elbetteki teknik konuları çalıştık, analiz ettik, tartıştık. Eksik olduğum konularda inanılmaz bir sabır ile her şeyi tek tek öğretip eksikliklerimi kapatması çok güzeldi. Bu süreçte Hocam’ın engin bilgisine tekrar ve tekrar şahit oldum fakat bunlardan önemlisi özel hayatımdaki mutlulukları, sevinçleri, hüzünleri dinleyip, empati kuran, yargılamayan, yol gösteren, iyi bir eğitimci olmaktan öte iyi bir insan olmanın gerekliliğini öğreten sayın İsmail ŞAHİN Hocam’ı yine yeni yeniden tanıma şansına eriştim. Ulaştırma mühendisliğindeki engin bilgisinin yanı sıra özel hayattaki bilgisi bana hayatım boyunca iş hayatında ve özel hayatımda yol gösterici olacaktır. Bu sebeplerden ve daha fazlasından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. İsmail ŞAHİN’e sonsuz teşekkürlerimi tüm akademik camia önünde iletmek isterim.

Tezim için gerekli verilerin sağlanmasında gösterdikleri kolaylıktan dolayı Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD) Haydarpaşa 1. Bölge Müdürlüğü’ne teşekkür ederim.

Başta, tez çalışmam boyunca sabahları benimle uyanıp kahvaltımı hazırlayan annem Müzeyyen SUVAR’a, uykusuz gecelerimde benimle sabahlayan babam Fethi SUVAR’a, Trabzon’da yaşadıkları için desteklerini uzaktan gönderen kardeşim Merve TUTKUN’a, enişte m Murat TUTKUN’a, ailemizin biricik yeni üyesi moral

kaynağım yeğenim Ela TUTKUN'a, ileri düzey İngilizcesiyle çevirilerdeki katkılarından dolayı can dostum Tevekkül T MEHRELİYEV'e, sağlık sorunlarımla ilgilenen teyzem Pınar ERDEM'e ve dostum Yılmaz ÇİFTÇİ'ye, kütüphanede çalışıp geç saatlere kaldığım zamanlarda araçla beni almaya gelen kuzenim Mustafa Cem ERDEM ve dostum Uğur KAPLAN'a, bilgisayar programlarının kullanılmasında yardımcı olan araştırma görevlisi hocamız Berna AKSOY'a, dağılımların uyum testine sokulmasında yardımcı olan araştırma görevlisi hocamız Mehmet Şirin ARTAN'a, trengraf okumalarındaki yardımlarından dolayı İrem OLGAY'a, tez teslim aşamasındaki yardımlarından dolayı Sadullah GÖNCÜ'ye, dostlarım Şükrü YILDIZ, Yavuz GÖKIRMAK, Doğucan BAYRAKTAR, Hikmet ALTINTAŞ ve tüm dostlarıma teşekkür ederim.

Umut SUVAR

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ x
KISALTMA LİSTESİ xi
ŞEKİL LİSTESİ xii
TABLO LİSTESİ xv
ÖZET xvii
ABSTRACT xix
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 4
1.3 Hipotez 4
2 HAYDARPAŞA-GEBZE BANLİYO HATTINDA TREN SEFERLERİNİN ANALİZİ 6
2.1 Haydarpaşa-Gebze Hattının Tanıtımı ve Veriler 6
2.2 Haydarpaşa-Gebze Gecikme Analizleri 8
2.2.1 Haydarpaşa'dan Kalkışların Gecikme Analizi (Sabah Zirvesi) 9
2.2.2 Haydarpaşa'ya Varışların Gecikme Analizi (Sabah Zirvesi) 11
2.2.3 Haydarpaşa-Gebze Yönünde Trenlerin Toplam Seyir Sürelerinin Analizi 11
2.2.4 12 Numaralı Trenin Gecikme Analizi (Haydarpaşa-Gebze Yönü Sabah Zirvesinde) 12
2.2.5 Haydarpaşa'dan Kalkışların Gecikme Analizi (Akşam Zirvesi) 14
2.2.6 Haydarpaşa'ya Varışların Gecikme Analizi (Akşam Zirvesi) 15
2.2.7 Haydarpaşa-Gebze Yönünde Trenlerin Toplam Seyir Sürelerinin Analizi (Akşam Zirvesi) 16
2.2.8 80 Numaralı Trenin Gecikme Analizi (Haydarpaşa-Gebze Yönü Akşam Zirvesinde) 17
2.2.9 Gebze'den Kalkışların Gecikme Analizi (Sabah Zirvesi) 19
2.2.10 Gebze'ye Varışların Gecikme Analizi (Sabah Zirvesi) 20
2.2.11 Gebze-Haydarpaşa Yönünde Trenlerin Toplam Seyir Sürelerinin Analizi (Sabah Zirvesi) 21

2.2.12 13 Numaralı Trenin Gecikme Analizi (Gebze-Haydarpaşa Yönü Sabah Zirvesinde) 22
2.2.13 Gebze'den Kalkışların Gecikme Analizi (Akşam Zirvesi) 24
2.2.14 Gebze'ye Varışların Gecikme Analizi (Akşam Zirvesi) 25
2.2.15 Gebze-Haydarpaşa Yönünde Trenlerin Toplam Seyir Sürelerinin Analizi (Akşam Zirvesi) 26
2.2.16 81 Numaralı Trenin Gecikme Analizi (Gebze-Haydarpaşa Yönü Akşam Zirvesinde) 27
2.2.17 Tuzla-Gebze Yönünde Trenlerin Seyir Süreleri (Sabah Zirvesi) 29
2.2.18 Bostancı-Maltepe Yönünde Trenlerin Seyir Süreleri (Akşam Zirvesi) 30
2.2.19 Tuzla-Pendik Yönünde Trenlerin Seyir Süreleri (Sabah Zirvesi) 31
2.2.20 Kartal-Maltepe Yönünde Trenlerin Seyir Süreleri (Akşam Zirvesi) .. 32
2.2.21 Haydarpaşa-Gebze Yönünde Tüm İstasyon Çiftleri Arasındaki Seyir Süreleri (Sabah Zirvesi) 33
2.2.22 Haydarpaşa-Gebze Yönünde Tüm İstasyon Çiftleri Arasındaki Seyir Süreleri (Akşam Zirvesi) 35
2.2.23 Gebze-Haydarpaşa Yönünde Tüm İstasyon Çiftleri Arasındaki Seyir Süreleri (Sabah Zirvesi) 36
2.2.24 Gebze-Haydarpaşa Yönünde Tüm İstasyon Çiftleri Arasındaki Seyir Süreleri (Akşam Zirvesi) 38
2.2.25 Söğütlüçeşme-Erenköy İstasyon Çifti Arasında Gecikme Analizi (Sabah ve Akşam Zirvesi) 40
2.2.26 Erenköy-Bostancı İstasyon Çifti Arasında Gecikme Analizi (Sabah ve Akşam Zirvesi) 41
2.2.27 Söğütlüçeşme-Bostancı İstasyon Çifti Arasında Gecikme Analizi (Sabah ve Akşam Zirvesi) 41
2.2.28 Pendik-Tuzla İstasyon Çifti Arasında Gecikme Analizi (Sabah ve Akşam Zirvesi) 42
2.2.29 Tuzla-Gebze İstasyon Çifti Arasında Gecikme Analizi (Sabah ve Akşam Zirvesi) 43
2.2.30 Pendik-Gebze İstasyon Çifti Arasında Gecikme Analizi (Sabah ve Akşam Zirvesi) 44

3 GECİKME VE SEYİR SÜRESİ DAĞILIMLARI İÇİN UYUM TESTLERİ 46
3.1 Haydarpaşa Kalkış Gecikmeleri İçin Ki-Kare Uyum Testi (Sabah Zirvesi) ... 46
3.2 Haydarpaşa Kalkış Gecikmeleri İçin Kolmogorov-Smirnov Uyum Testi (Sabah Zirvesi) ... 55
3.3 Haydarpaşa Kalkış Gecikmeleri İçin Ki-Kare Uyum Testi (Akşam Zirvesi) .. 62
3.4 Haydarpaşa Kalkış Gecikmeleri İçin Kolmogorov-Smirnov Uyum Testi (Akşam Zirvesi) ... 68
3.5 Haydarpaşa-Gebze Seyir Süreleri İçin Ki-Kare Uyum Testi (Sabah Zirvesi) 73
3.6 Haydarpaşa-Gebze Seyir Süreleri İçin Kolmogorov-Smirnov Uyum Testi (Sabah Zirvesi) ... 79
4 İSTATİSTİKSEL GECİKME TAHMİNİ 85
4.1 Haydarpaşa-Bostancı Gecikme Tahmini ... 86
4.2 Bostancı-Pendik Gecikme Tahmini ... 91
4.3 Pendik-Gebze Gecikme Tahmini ... 94
5 SONUÇ VE ÖNERİLER 99
KAYNAKÇA 102
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 104

SİMGE LİSTESİ

α	Anlamlılık Düzeyi
$\Gamma(\alpha_1)$	Gama Fonksiyonu
n_i	Gözlenen Sıklık
χ^2	Ki-Kare
$F_X(x)$	Kümülatif Dağılım Fonksiyonu
$f(x)$	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
μ	Ortalama
β	Ölçek Parametresi
g	Parametre Sayısı
f	Serbestlik Derecesi
i	Sınıf
N	Sınıf Sayısı
z_i	Standart Normal Değişken
σ	Standart Sapma
α_1	Şekil Parametresi
α_2	Şekil Parametresi
$\hat{x}_i$	Tahmin Edilen Varış Gecikmesi
e_i	Teorik Sıklık
$P(x)$	X'in Olasılığı

KISALTMA LİSTESİ

DAK	Dakika
DK	Değişkenlik Katsayısı
RMSE	Root Mean Square Error
TM	Trimean
U	Uygun
UD	Uygun Değil

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Demiryolu kapasitesinde denge bileşenleri (Landex, 2009) 2
Şekil 2.1 Vaziyet planı (Olgay ve diğ., 2019) 7
Şekil 2.2 01.06.2005 Akşam zirve trengrafı 8
Şekil 2.3 Haydarpaşa'dan kalkış gecikmelerinin dağılımı (sabah zirvesi) 10
Şekil 2.4 Haydarpaşa'ya varış gecikmelerinin dağılımı (sabah zirvesi) 11
Şekil 2.5 Haydarpaşa-Gebze seyir süreleri (sabah zirvesi) 12
Şekil 2.6 Haydarpaşa-Gebze yönünde seyreden 12 numaralı trenin orer ve gerçekleşen kalkış zamanları (Gebze için varış zamanı) 13
Şekil 2.7 Haydarpaşa-Gebze yönünde seyreden 12 numaralı trenin istasyonlardan kalkış gecikmeleri (Gebze için varış gecikmeleri) 14
Şekil 2.8 Haydarpaşa'dan kalkış gecikmelerinin dağılımı (akşam zirvesi) 15
Şekil 2.9 Haydarpaşa'dan varış gecikmelerinin dağılımı (akşam zirvesi) 16
Şekil 2.10 Haydarpaşa-Gebze seyir süreleri (akşam zirvesi) 17
Şekil 2.11 Haydarpaşa-Gebze yönünde seyreden 80 numaralı trenin orer ve gerçekleşen kalkış zamanları (Gebze için varış zamanı) 18
Şekil 2.12 Haydarpaşa-Gebze yönünde seyreden 80 numaralı trenin istasyonlardan kalkış gecikmeleri (Gebze için varış gecikmeleri) 19
Şekil 2.13 Gebze'den kalkış gecikmelerinin dağılımı (sabah zirvesi) 20
Şekil 2.14 Gebze'den varış gecikmelerinin dağılımı (sabah zirvesi) 21
Şekil 2.15 Gebze-Haydarpaşa seyir süreleri (sabah zirvesi) 22
Şekil 2.16 Gebze-Haydarpaşa yönünde seyreden 13 numaralı trenin orer ve gerçekleşen kalkış zamanları (Haydarpaşa için varış zamanı) 23
Şekil 2.17 Gebze-Haydarpaşa yönünde seyreden 13 numaralı trenin istasyonlardan kalkış gecikmeleri (Haydarpaşa için varış gecikmeleri) 24
Şekil 2.18 Gebze'den kalkış gecikmelerinin dağılımı (akşam zirvesi) 25
Şekil 2.19 Gebze'den varış gecikmelerinin dağılımı (akşam zirvesi) 26
Şekil 2.20 Gebze-Haydarpaşa seyir süreleri (akşam zirvesi) 27
Şekil 2.21 Gebze-Haydarpaşa yönünde seyreden 81 numaralı trenin orer ve gerçekleşen kalkış zamanları (Haydarpaşa için varış zamanı) 28
Şekil 2.22 Gebze-Haydarpaşa yönünde seyreden 81 numaralı trenin istasyonlardan kalkış gecikmeleri (Haydarpaşa için varış gecikmeleri) 29
Şekil 2.23 Tuzla-Gebze seyir süreleri (sabah zirvesi) 30
Şekil 2.24 Bostancı-Maltepe seyir süreleri (akşam zirvesi) 31
Şekil 2.25 Tuzla-Pendik seyir süreleri (sabah zirvesi) 32
Şekil 2.26 Kartai-Maltepe seyir süreleri (akşam zirvesi) 33
Şekil 2.27 Haydarpaşa-Gebze yönünde istasyon çiftleri arasındaki seyir süreleri (sabah zirvesi) 34
Şekil 2.28 Haydarpaşa-Gebze yönünde istasyon çiftleri arasındaki seyir süreleri (akşam zirvesi) 36
Şekil 2.29 Gebze-Haydarpaşa yönünde istasyon çiftleri arasındaki seyir süreleri (sabah zirvesi) 38
Şekil 2.30 Gebze-Haydarpaşa yönünde istasyon çiftleri arasındaki seyir süreleri (akşam zirvesi) 39

Şekil 2.31 Söğütlüçeşme-Erenköy istasyon çifti arasında gecikme analizi (sabah ve akşam zirvesi) 40
Şekil 2.32 Erenköy-Bostancı istasyon çifti arasında gecikme analizi (sabah ve akşam zirvesi) 41
Şekil 2.33 Söğütlüçeşme-Bostancı istasyon çifti arasında gecikme analizi (sabah ve akşam zirvesi) 42
Şekil 2.34 Pendik-Tuzla istasyon çifti arasında gecikme analizi (sabah ve akşam zirvesi) 43
Şekil 2.35 Tuzla-Gebze istasyon çifti arasında gecikme analizi (sabah ve akşam zirvesi) 44
Şekil 2.36 Pendik-Gebze istasyon çifti arasında gecikme analizi (sabah ve akşam zirvesi) 45
Şekil 3.1 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için normal dağılım (sabah zirvesi) 49
Şekil 3.2 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için gama dağılımı (sabah zirvesi)....51
Şekil 3.3 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için beta dağılımı (sabah zirvesi)....53
Şekil 3.4 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için weibull dağılımı (sabah zirvesi) 54
Şekil 3.5 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için normal-gama-beta-weibull dağılımı (sabah zirvesi)....55
Şekil 3.6 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için normal dağılım (sabah zirvesi) 57
Şekil 3.7 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için gama dağılımı (sabah zirvesi)....59
Şekil 3.8 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için beta dağılımı (sabah zirvesi)....60
Şekil 3.9 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için weibull dağılımı (sabah zirvesi) 61
Şekil 3.10 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için normal-gama-beta-weibull dağılımı (sabah zirvesi)....62
Şekil 3.11 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için normal dağılım (akşam zirvesi)....64
Şekil 3.12 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için gama dağılımı (akşam zirvesi) 65
Şekil 3.13 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için beta dağılımı (akşam zirvesi)....66
Şekil 3.14 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için weibull dağılımı (akşam zirvesi) 67
Şekil 3.15 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için normal-gama-beta-weibull dağılımı (akşam zirvesi) 67
Şekil 3.16 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için normal dağılım (akşam zirvesi)....69
Şekil 3.17 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için gama dağılımı (akşam zirvesi) 70
Şekil 3.18 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için beta dağılımı (akşam zirvesi)....71
Şekil 3.19 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için weibull dağılımı (akşam zirvesi) 72
Şekil 3.20 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için normal-gama-beta-weibull dağılımı (akşam zirvesi) 73
Şekil 3.21 Haydarpaşa-Gebze seyir süreleri için normal dağılım (sabah zirvesi)...75
Şekil 3.22 Haydarpaşa-Gebze seyir süreleri için gama dağılımı (sabah zirvesi) 76
Şekil 3.23 Haydarpaşa-Gebze seyir süreleri için beta dağılımı (sabah zirvesi)....77
Şekil 3.24 Haydarpaşa-Gebze seyir süreleri için weibull dağılımı (sabah zirvesi) .78
Şekil 3.25 Haydarpaşa-Gebze seyir süreleri için normal-gama-beta-weibull dağılımı (sabah zirvesi)....78
Şekil 3.26 Haydarpaşa-Gebze seyir süreleri için normal dağılım (sabah zirvesi)...80
Şekil 3.27 Haydarpaşa-Gebze seyir süreleri için gama dağılımı (sabah zirvesi) 81
Şekil 3.28 Haydarpaşa-Gebze seyir süreleri için beta dağılımı (sabah zirvesi) 82

Şekil 3.29 Haydarpaşa-Gebze seyir süreleri için weibull dağılımı (sabah zirvesi) 83
Şekil 3.30 Haydarpaşa-Gebze seyir süreleri için normal-gama-beta-weibull dağılımı (sabah zirvesi) 84
Şekil 4.1 Haydarpaşa'dan 4 dakika gecikmeyle kalkan trenlerin Bostancı'ya varış gecikmeleri (sabah ve akşam zirvesi) 87
Şekil 4.2 Bostancı varış gecikmelerinin kümülatif bağıl frekans dağılımı (sabah ve akşam zirvesi) 87
Şekil 4.3 Bostancı'dan 2 dakika gecikmeyle kalkan trenlerin Pendik'e varış gecikmeleri (sabah ve akşam zirvesi) 92
Şekil 4.4 Pendik varış gecikmelerinin kümülatif bağıl frekans dağılımı (sabah ve akşam zirvesi) 92
Şekil 4.5 Pendik'ten 1 dakika gecikmeyle kalkan trenlerin Gebze'ye varış gecikmeleri (sabah ve akşam zirvesi) 95
Şekil 4.6 Gebze varış gecikmelerinin kümülatif bağıl frekans dağılımı (sabah ve akşam zirvesi) 96

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Haydarpaşa-Gebze yönünde seyreden 12 numaralı trenin orer ve gerçekleşen kalkış zamanları (Gebze için varış zamanı) 13
Tablo 2.2 Haydarpaşa-Gebze yönünde seyreden 80 numaralı trenin orer ve gerçekleşen kalkış zamanları (Gebze için varış zamanı) 18
Tablo 2.3 Gebze-Haydarpaşa yönünde seyreden 13 numaralı trenin orer ve gerçekleşen kalkış zamanları (Haydarpaşa için varış zamanı) 23
Tablo 2.4 Gebze-Haydarpaşa yönünde seyreden 81 numaralı trenin orer ve gerçekleşen kalkış zamanları (Haydarpaşa için varış zamanı) 28
Tablo 3.1 Normal dağılım için ki-kare uygunluk testi (sabah zirvesi).....49
Tablo 3.2 Gama dağılımı için ki-kare uygunluk testi (sabah zirvesi).....51
Tablo 3.3 Beta dağılımı için ki-kare uygunluk testi (sabah zirvesi).....52
Tablo 3.4 Weibull dağılımına uygunluk testi (sabah zirvesi).....54
Tablo 3.5 Normal dağılım için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi (sabah zirvesi) 57
Tablo 3.6 Gama dağılımı için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi (sabah zirvesi)59
Tablo 3.7 Beta dağılımı için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi (sabah zirvesi)60
Tablo 3.8 Weibull dağılımı için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi (sabah zirvesi) 61
Tablo 3.9 Normal dağılım için ki-kare uygunluk testi (akşam zirvesi).....63
Tablo 3.10 Gama dağılımı için ki-kare uygunluk testi (akşam zirvesi).....64
Tablo 3.11 Beta dağılımı için ki-kare uygunluk testi (akşam zirvesi).....65
Tablo 3.12 Weibull dağılımı için ki-kare uygunluk testi (akşam zirvesi).....66
Tablo 3.13 Normal dağılım için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi (akşam zirvesi).....69
Tablo 3.14 Gama dağılımı için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi (akşam zirvesi) 70
Tablo 3.15 Beta dağılımı için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi (akşam zirvesi) 71
Tablo 3.16 Weibull dağılımı için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi (akşam zirvesi).....72
Tablo 3.17 Normal dağılım için ki-kare uygunluk testi (sabah zirvesi).....74
Tablo 3.18 Gama dağılımı için ki-kare uygunluk testi (sabah zirvesi).....75
Tablo 3.19 Beta dağılımı için ki-kare uygunluk testi (sabah zirvesi).....76
Tablo 3.20 Weibull dağılımı için ki-kare uygunluk testi (sabah zirvesi).....77
Tablo 3.21 Normal dağılım için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi (sabah zirvesi) 80
Tablo 3.22 Gama dağılımı için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi (sabah zirvesi) 81
Tablo 3.23 Beta dağılımı için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi (sabah zirvesi) 82
Tablo 3.24 Weibull dağılımı için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi (sabah zirvesi) 83

Tablo 4.1 Haydarpaşa-Bostancı kalkış-varış gecikmesi frekans dağılımı (sabah ve akşam zirvesi) 86
Tablo 4.2 Haydarpaşa-Bostancı kalkış-varış gecikmesi bağıl frekans dağılımı (sabah ve akşam zirvesi) 86
Tablo 4.3 Haydarpaşa kalkış gecikmelerine göre Bostancı varış gecikmelerinin tahmin ve gözlenen değerleri (sabah ve akşam zirvesi) 89
Tablo 4.4 Bostancı varış gecikmeleri için hesaplanan RMSE (sabah ve akşam zirvesi) 90
Tablo 4.5 Bostancı-Pendik kalkış-varış gecikmesi frekans dağılımı (sabah ve akşam zirvesi) 91
Tablo 4.6 Bostancı-Pendik kalkış-varış gecikmesi bağıl frekans dağılımı (sabah ve akşam zirvesi) 91
Tablo 4.7 Bostancı kalkış gecikmelerine göre Pendik varış gecikmelerinin tahmin ve gözlenen değerleri (sabah ve akşam zirvesi) 93
Tablo 4.8 Pendik varış gecikmeleri için hesaplanan RMSE (sabah ve akşam zirvesi) 94
Tablo 4.9 Pendik-Gebze kalkış-varış gecikmesi frekans dağılımı (sabah ve akşam zirvesi) 94
Tablo 4.10 Pendik-Gebze kalkış-varış gecikmesi bağıl frekans dağılımı (sabah ve akşam zirvesi) 95
Tablo 4.11 Pendik kalkış gecikmelerine göre Gebze varış gecikmelerinin tahmin ve gözlenen değerleri (sabah ve akşam zirvesi) 97
Tablo 4.12 Gebze varış gecikmeleri için hesaplanan RMSE (sabah ve akşam zirvesi) 98

ÖZET

Kentiçi Raylı Sistemlerde Tren Seyirlerinin İstatistiksel Analizi

Umut SUVAR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. İsmail ŞAHİN

Planlanan bir çizelgeye bağlı tarifeli işletmecilik yapılan eski Haydarpaşa-Gebze demiryolu hattındaki, belirlenen ve gerçekleşmekte olan tren seferlerinin karşılaştırılması, tren işletmeciliğinin niteliği ve performansına dair önemli bilgiler sunabilmektedir. Bu hatta, yolcuları ve yükleri taşıyan trenler, gidiş ve geliş yönünde hizmet vermektedir. Araştırma ve incelemelerimiz zirve saatlerde (06:00-09:00), (17:00-20:00) gerçekleşen 10 günlük seyirleri kapsamaktadır. Zirve saatlerde gerçekleşen seyirlerin, planlanmış süreleri aşıp aşmadığı araştırılmış, kalkış ve varış gecikmelerindeki sapmalar hesaplanmış ve bulunan neticeler değerlendirilmiştir. Planlanmış seyirlerin hareketleri orerden, gerçekleşmiş seyirlerin hareketleri trengraf adı verilen çizelgelerden okunmuştur. Trengraflarda mevcut olan veriler manuel olmak üzere okunmuş ve bilgisayara kaydedilmiştir. Belirlenen ve gerçekleşmekte olan seferler karşılaştırılmış tren bazlı ve istasyon bazlı olmak üzere bir takım istatistiksel analizler yapılmış ve bulunan sonuçlar grafiklerle de görsel olarak desteklenmiştir. İnceleme ve araştırmamızda önerilen metotlar, kentiçi demiryolu hatlarında gerçekleşen seferlerin işletimine dair, gecikme analizi, çizelgelere uyumluluk, gecikme aktarımı, telafisi ve tahmini varış

süresi başta olmak üzere çeşitli matematiksel analizler yapmaya elveriş göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Haydarpaşa-Gebze banliyö hattı, gecikme analizi, istatistiksel analiz, hipotez testi, dağılım uydurma

ABSTRACT

Statistical Analysis of Train Operation in Urban Rail Systems

Umut SUVAR

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Advisor: Prof. Dr. İsmail ŞAHİN

The comparison of planned and realized train movements of timetable-based scheduled operations in the previous Haydarpaşa-Gebze railway line, provide important information about the quality and performance of train operations. The main line passenger and freight trains, commuter trains were operating in this double track railway. In this study, movements of the commuter trains in both directions for ten days during peak hours (06:00-09:00), (17:00-20:00) were investigated. During the research intervals considered, the movements of trains were investigated in order to examine cases of being faster or slower than planned times, arrival and departure delays were calculated and the results obtained were evaluated. Scheduled train movements data were obtained from published timetables while actual train movements data were obtained from traingraphs. The data in the traingraphs were read manually and transferred to computer. During the comparisons between planned and realized train movements, various train-based and station-based statistical analyses have been carried out and results were expressed by graphs. The methods presented in this study helps to handling various numerical analysis such as delay analysis, schedule adherence, delay transmission and compensation, estimated time of arrival in urban rail systems.

Keywords: Haydarpaşa-Gebze commuter line, delay analysis, statistical analysis, hypothesis testes, distribution fitting

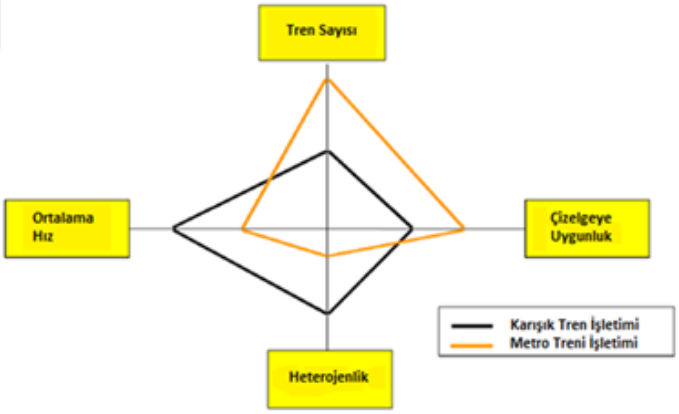
1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Güvenilirlik ya da dakiklik hem hizmet alıcılar hem de hizmet sunanlar için tarifeli tren işletmeciliğinin önemli bileşenlerinden biridir. Demiryolu endüstrisi genellikle dakiklik ve güvenilirlik gibi temel performans göstergeleriyle kendini değerlendirir. Bu bütünleşik ölçümler, yolculara vaat edilen programa sadık kalma becerisi anlamına gelen hizmet kalitesini ifade eder (Cerreto ve diğ., 2016). Özellikle öngörülenden fazla büyümüş metropollerde giderek artan yolcu ve yük talebi, kapasitenin verimli kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu verimli kullanım gerçekleşirken, hizmet kalitesinin belirli bir düzeyde tutulması da özellikle kentiçi yolcu taşımacılığı için beklenmektedir. Dakiklik ve gecikmeler iyi bilinen genel kavramlardır, ancak bunların tanımı ve hesaplama yöntemi ülkeler ve demiryolu şirketleri arasında farklılık gösterir. Dakiklik, çalıştırılan toplam tren sayısına kıyasla gecikmeyen/vaktindeki tren sayısını ifade eder (Olsson ve Haugland, 2004). Dakiklik ölçüm noktalarının ve ölçüme dahil edilecek trenlerin seçiminde farklılıklar bulunur. Buna göre, dakiklik hedefleri de her ülkede farklıdır ve tren kategorisine göre değişebilir (Schittenhelm, 2011). Yapılan çalışmalar, tarifeli tren işletmeciliğinde dakikliğin (punctuality) çoğu zaman olduğundan daha kötü algılandığını, çünkü yolcuların kötü performansları iyi performanslara kıyasla daha fazla hatırlamaya eğilimli bir seçici hafızaları olduğunu ortaya koymuştur (Yuan, 2006). Gecikmeler, gerçekleşen ve planlanan faaliyet süreleri arasındaki pozitif sapmalardır. Literatürde farklı gecikme sınıflamaları mevcuttur. Sınıflandırmaların çoğu, doğrudan işlem sürelerinin değişkenliğinden kaynaklanan gecikmeler ile fiili operasyondaki müteakip çatışmaların neden olduğu gecikmeler arasında ayrım yapar (Goverde ve Hansen, 2013). 1998 yılında yapılan bir piyasa araştırmasına göre, demiryolu yolcu ve yük taşımacılığı güvenilirliğindeki %1'lik artışın, %5'lik bir

gelir artışı etkisi yaratabilecek potansiyelde olduğu saptanmıştır (Mattsson, 2004). Raylı sistemler, çevresel kaygılardan dolayı bugün dünyada en çok kabul gören toplu taşıma sistemi olup, 1990'ların ikinci yarısından itibaren ülkemizde de pek çok stratejik planın omurgasını oluşturacak biçimde benimsenen ulaştırma türüdür. Bu bakımdan, altyapı yatırımlarıyla yaygınlaşmaya başlayan bu ulaştırma türünün daha fazla talep çekebilmesi için, hizmet kalitesi bileşenlerinin makul düzeylerde tutulması gerekmektedir.

Raylı sistemlerin planlama ve işletimine ilişkin çalışmalar, dünyada yaygın olmakla birlikte ülkemizde maalesef yeterli düzeyde değildir. Oysa uzun vadeli büyüme tahminleri hem yolcu hem de yük trafiği için artan talepler karşısında, sunulan kapasitenin yetersiz kalabileceğini göstermektedir. Kapasite ve gecikme arasındaki ilişkiyi ortaya koyan pek çok çalışma yapılmıştır; hatta Avrupa'da gecikme ve kapasite ilişkisini görselleştiren GIS tabanlı sistemler de geliştirilmiştir. Demiryolu kapasitesinin kararlı/dengeli sunumu için gereken birkaç bileşen mevcuttur (Landex, 2009). Bu bileşenler Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Demiryolu kapasitesinde denge bileşenleri (Landex, 2009)

Şekil 1'de görüldüğü gibi kapasitenin en önemli bileşenlerinden biri çizelgeye uygunluktur. Bu da gecikme ya da erken gelmelerin en küçüklenmesini işaret eder. Demiryolu terimi olarak gecikme, bir trenin zamansal tarifesinden (pozitif) sapma olarak tanımlanır. Gecikme analiziyle ilgili pek çok çalışmada tren gecikmelerine neden olan faktörlerin belirlenmesine çalışılmıştır (Dingler, 2010). Söz konusu faktörlerin belirlenebilmesi için gecikmelerin/erken gelmelerin genel karakteristiğini anlamak gerekmektedir. Böylece kapasiteden alınacak verimi

artırmaya yönelik bir işletmecilik önerisi ortaya konulabilir. Araştırmalarda, karşılaşma ve öne geçme faktörlerinin bu gecikmelerde en büyük etkiye sahip olduğu bulunmuştur (Gorman, 2009). Demiryolu literatüründe, genel olarak seyahat süresi güvenilirliğine odaklanılmıştır. Özellikle, tren gecikmesini modelleme yolları ve gecikmenin kapasite kullanımı ile olan ilişkisi ele alınmıştır. Gecikmelerin analizi için analitik yöntem, simülasyon ve istatistiksel yaklaşım olmak üzere üç temel yöntemden bahsedilebilir. Analitik modeller, stratejik planlama aşamasında demiryolu sisteminin sadeleştirilmiş bir temsili olup, simülasyon modelleri kadar veri girişi gerektirmezler. Ancak bu basitleştirmeler birçok kabul yapılmasını gerektirdiğinden, modelin dayandığı varsayımları doğrulamak zor olabilir ve elde edilen sonuçların hassasiyet düzeyi yeterli olmayabilir. Simülasyon modelleri ise ayrıntılı veri gerektirmekle birlikte, bu modellerin zaman içinde, erişimi kısıtlı ticari ürünlere dönüşme potansiyeli vardır. Bu yöntemlerin her üçü de gözleme dayanan veriler kullanmakta olup aralarında en yaygın olanı, uygulama kolaylığı, gerçekçiliği ve hızı bakımından istatistiksel yaklaşımdır (Mattsson, 2007). Örneğin, Kopenhag'da yapılan bir çalışmada K-ortalamalar (K-means) kümelenmesi kullanılmış ve tekrarlayan gecikme kalıpları tanımlanmıştır. Bulgular, düzeltici eylemlerin gerekliliğini ortaya koymuş ve K-means kümelenmesinin aynı istasyonları etkileyen farklı sorunları saptayabileceği sonucuna varılmıştır (Cerreto ve diğ., 2018). İzleme sisteminden sürekli olarak daha fazla bilgi elde edilmesi durumunda, olasılık dağılımlarının güncellenmesi ve böylece gelecekteki tren gecikmelerinin belirsizliğinin gerçek zamanlı olarak azaltılması mümkün olacaktır (Corman ve Kecman, 2018).

Haydarpaşa-Gebze banliyö hattına ilişkin ülkemizde yapılan ilk çalışmalardan birinde de istatistiksel yaklaşım kullanılmış (Şahin ve Zırhlı, 2006), trenlerin planlanan ve gerçekleşen seyir süreleri ve izleme süreleriyle ilgili olarak regresyon analizi, korelasyon katsayısı hesabı ve olasılık dağılımına uygunluk bağlamında rastgelelik testi yapılmıştır. Sonuçta, incelenen ve araştırılan zaman aralığı için, seferlerin belirlenen zaman aralıklarından rastgele değil, belirli bir anlam dahilinde daha çabuk hareket ettiği, yani planlanan ve gerçekleşen seyir süreleri arasında zayıf bir korelasyon bulunduğu saptanmıştır. Bu sonuçlar, Haydarpaşa-Gebze hattında incelenen zaman aralığında gerçekleşen banliyö treni işletmeciliğinin

planlanan çizelgeyi (oreri) iyi yansıtmadığını ve izlemeler arasında bir demiryolu işletmesinden beklenenin aksine sistematik bir ilişki bulunmadığını ortaya koymuştur. Her bir hattaki gecikmelerin ve seyir sürelerinin olasılık dağılımları, birincil gecikmeler, rota uyuşmazlıkları, taşıt tipi, zirve saatler ve hava koşulları gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak tahmin edilebilir (Hansen ve diğ., 2010). Hollanda'da bir tren istasyonu için kaydedilen verilere dayanarak birkaç dağılım modeli Kolmogorov-Smirnov istatistiği aracılığıyla mukayese edilmiş, bu verilerden hareketle log-normal dağılımın, genel olarak hem platformdaki hem de sinyale yaklaşan trenlerin varış zamanları için aday dağılım modelleri arasından en iyi yaklaşık model olarak kabul edilebileceği bulunmuştur. Weibull dağılımının ise genellikle negatif olmayan varış gecikmeleri, kalkış gecikmeleri ve geç gelen trenlerin kalkış zamanları için en iyi model olarak kabul edilebileceği, ayrıca basit olması nedeniyle üstel dağılımın da yaklaşık bir dağılım modeli olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Yuan ve diğ., 2006).

1.2 Tezin Amacı

İnceleme ve araştırmamızda önerilen metotlar yardımıyla kentiçi demiryolu hatlarında gerçekleşen seferlerin işletimine dair, gecikme analizi, çizelgelere uyumluluk, gecikme aktarımı, telafisi, dağılım uydurma ve tahmini varış süreleri gibi çeşitli matematiksel analizler yapmak amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Demiryolu taşımacılığında çizelgeye uygunluk işletim verimliliğini ve hizmet kalitesini doğrudan etkilemektedir. Tren seyirlerindeki belirsizlikler bu bakımdan olumsuzluklar doğurabileceğinden, bu konuda çalışmalar yapılmalıdır. Gerçek işletme koşullarında trenlerin istasyonlara varış ve kalkış zamanları ile trenlerin istasyonlar arasındaki seyir sürelerinin belirli aralıklarda değişkenlik gösterdiği bilinmektedir. TCDD 1. Bölge Müdürlüğü'nün yönetiminde olan Haydarpaşa-Gebze hattındaki banliyö trenlerinin 10 günlük sabah ve akşam zirve saatlerde gerçekleşen seyir kayıtları elde edilmiş ve bu kayıtlar planlanan orer zamanlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar tren seyirlerindeki değişkenliği yani

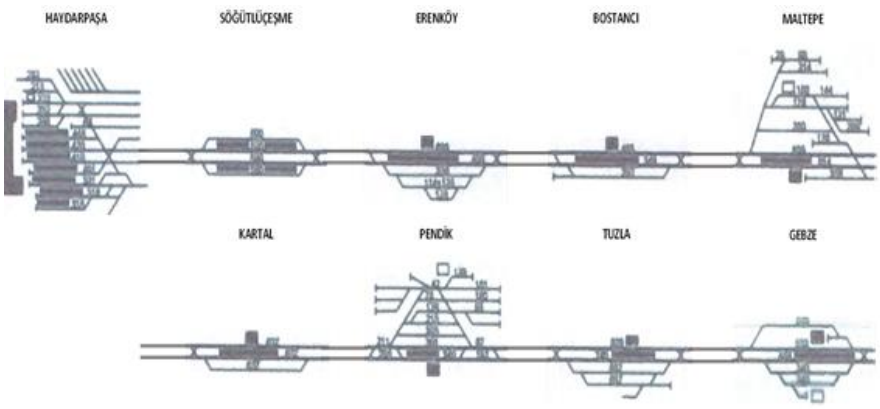
belirsizliği ortaya koymaktadır. Toplanan veriler kapsamlı bir istatistiksel analize tabii tutularak geliştirilen çeşitli hipotezlerin geçerli olup olmadığı araştırılmıştır. Tren seyirlerindeki belirsizliklerden yararlanarak belirli gecikmeler altında trenlerin sonraki seyirlerine ilişkin tahminler yapılabileceği öngörülmüş ve uygulanan tahmin yöntemiyle, trenlerin sonraki istasyonlardan kalkış zamanları tahmin edilmiştir.

2
HAYDARPAŞA-GEBZE BANLİYO HATTINDA TREN SEFERLERİNİN ANALİZİ

2.1 Haydarpaşa-Gebze Hattının Tanıtımı ve Veriler

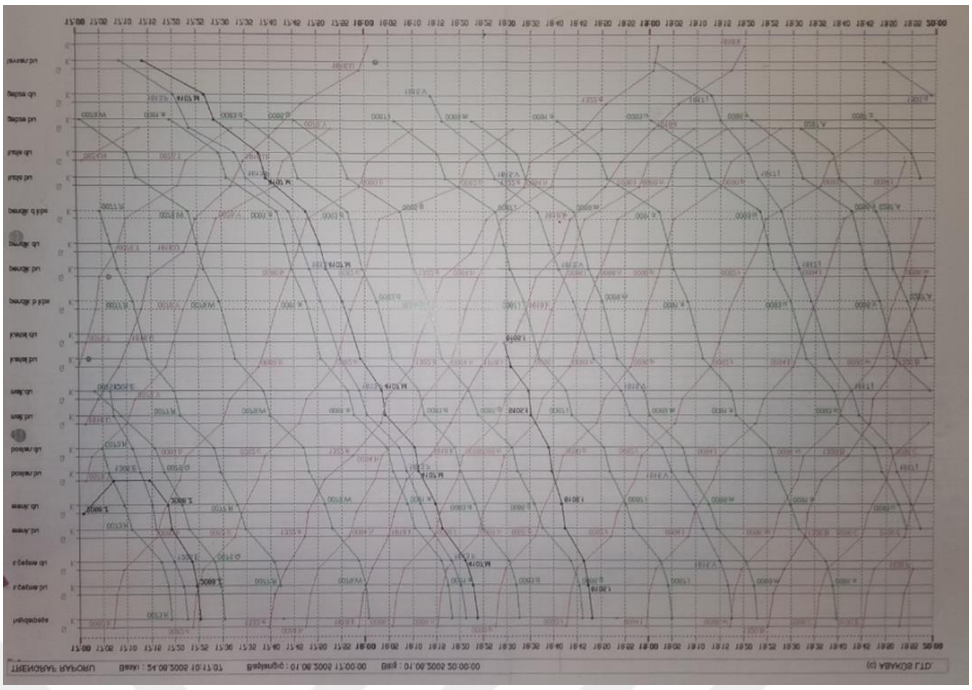
Haydarpaşa-Gebze demiryolu hattı İstanbul'un Anadolu yakasında Marmara denizinin kuzey kıyıları boyunca batı-doğu doğrultusunda uzanan ana seyahat koridorlarından biridir. Haydarpaşa-Gebze arasında bulunan çift hatlı demiryolunda banliyö treni hizmetleri 29 Mayıs 1969 tarihinde başlamıştır. 2013 yılına kadar banliyö, anahat ve bölgesel tren hizmetleriyle bu işlevini uzun yıllar sürdürmüştür. Banliyö seferleri Marmaray çalışmaları kapsamında önce Pendik-Gebze arasında 29 Nisan 2012'de ve sonra Haydarpaşa-Pendik arasında 19 Haziran 2013'te sonlandırılmıştır. Marmaray inşaatı nedeniyle kapatılan hat 12 Mart 2019 tarihinde Halkalı-Gebze terminalleri arasında hizmet vermeye başlamıştır. Böylece İstanbul'un iki yakasında bulunan banliyö hatları, denizin altına yerleştirilen batırma tüplerdeki raylar aracılığıyla birleştirilmiştir. Çalışmada incelenen Haydarpaşa-Gebze hattının Haydarpaşa-Söğütlüçeşme kesimi günümüzde işletilmekte olan Marmaray koridorunun dışında bulunmaktadır.

Bu araştırma ve incelemede, 1-10 Haziran 2005 tarihleri arasında, 06:00-09:00 ve 17:00-20:00 zirve saatlerde çift hatlı olarak işletilen banliyö trenlerinin işletim başarımına (performansına) ilişkin incelemeler yapılmıştır. Bu kesimdeki banliyö trenleri tarifeli şekilde orer zamanlarına bağlı kalınarak işletilmektedir. Haydarpaşa-Gebze hattında veri elde edilen ana istasyonları gösteren hat planı Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Vaziyet planı (Olgay ve diğ., 2019)

Trenlerin gerçekleşen varış ve kalkış zamanları, istasyonların girişinde ve çıkışındaki makaslarda bulunan OS (On Switch) adı verilen algılayıcıların kumanda merkezine gönderdiği elektrik sinyalleri aracılığıyla kaydedilir. Trenlerin konum-zaman bilgilerini içeren bu sinyaller kumanda merkezinde trengraf adı verilen istasyon-zaman grafiklerine dönüştürülerek gerçek zamanlı olarak işlenirler. Şekil 2.2'de bir örnek trengraf görülmektedir.



Şekil 2.2 01.06.2005 Akşam zirve trengrafı

Planlanan orer ve gerçekleşen trengraf zamanları karşılaştırılarak iki yöndeki trenlerin sabah ve akşam zirve saatlerdeki hareketleri incelenmiştir. Bu kapsamda aşağıdaki analizler yapılabilmektedir.

İstasyona giriş ve çıkış zamanlarının farkından, trenin istasyon sahasında bulunma süresi. Bu süre gerçek bekleme süresi ile ilişkilendirilebilir.

Trenlerin Haydarpaşa ve Gebze terminal istasyonlarından kalkış ve bu istasyonlara varış gecikmeleri incelenebilir.

Bir istasyondan gecikmeli kalkan trenin ardışık istasyonlarda bu gecikmesini telafi edip edemediği gösterilebilir.

2.2 Haydarpaşa-Gebze Gecikme Analizleri

Haydarpaşa-Gebze banliyö hattında 1 Haziran 2005 ile 10 Haziran 2005 tarihleri arasında, sabah 6:00-09:00 ve akşam 17:00-20:00 saatleri arasında toplam 56 adet tren seyir etmektedir. Bu trenler, Haydarpaşa kalkışlı Gebze varışlı ve Gebze kalkışlı Haydarpaşa varışlıdır. Bu trenlerin gidiş ve geliş yönlerinde istasyonlardaki kalkış ve varış zamanları ile istasyonlar arasındaki seyir süreleri orer zamanlarına bağlı olarak incelenmiştir. Bu incelemeler esnasında erken kalkış ve gecikmeli kalkış

zamanları ele alınmıştır. Erken kalkış durumları için bu trenlerin seyir anında ara istasyonlara erken varıp varmadığı araştırılmıştır. Böylece planlanan (orer) zamanından önce erken kalkarak yolcuların mağdur olup olmadığına bakılmıştır. Mağduriyet yaşanmaması açısından bu trenlerin, olması gerekenden daha yavaş mı yoksa daha hızlı mı hareket ettiğine bakılmıştır. Eğer gecikmeli kalkış varsa, seyir anında bu gecikmeli kalkış nedeniyle kaybedilen sürenin, seyir boyunca istasyonlar arasında daha hızlı hareket ederek telafi edilip edilmediği de incelenmiştir. Bu incelemelerin ardından bu trenlerin, son durağa geldiğinde planlanan zamandan önce mi, tam zamanında mı, yoksa gecikmeli bir şekilde mi seyrini tamamladığı ayrıntılı olarak incelenmiş, şekil ve tablolarda gösterilmiştir. Şekil ve tablolardaki ortalama değer (μ), standart sapma (σ) ve değişkenlik katsayısı (DK) sırasıyla (2.1), (2.2) ve (2.3) eşitlikleri yardımıyla hesaplanır.

$$\mu = \frac{\sum x_i \cdot n_i}{n} \tag{2.1}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2 \cdot n_i}{n}} \tag{2.2}$$

$$DK = \frac{\sigma}{\mu} \tag{2.3}$$

Burada,

x_i = *i* sınıfındaki gecikme veya seyir süresi

n_i = i sınıfının frekansı ya da gözlem sayısı

n = tüm sınıflardaki toplam gözlem sayısı

ile ifade edilmiştir.

2.2.1 Haydarpaşa'dan Kalkışların Gecikme Analizi (Sabah Zirvesi)

Sabah zirve saatlerde Haydarpaşa kalkışlı olan 14 adet trenin 110 adet seferi incelenmiştir. Eldeki veriler ışığı altında sabah zirve saatlerde bu trenlerin

Haydarpaşa'dan kalkıştaki gecikmelerinin ortalama değeri 3,31 dakika, standart sapması 1,68 dakika ve değişkenlik katsayısı 0,51 olarak bulunmuştur. Değişkenlik katsayısının görece küçük olması, kalkış gecikmelerindeki değişkenliğin ortalama değerin yaklaşık yarısı olduğunu göstermektedir. Kalkış gecikmelerinin histogram grafiği ve istatistiksel büyüklükleri Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Eşitlik (2.1), (2.2) ve (2.3)'te gösterilen istatistiksel büyüklükler aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

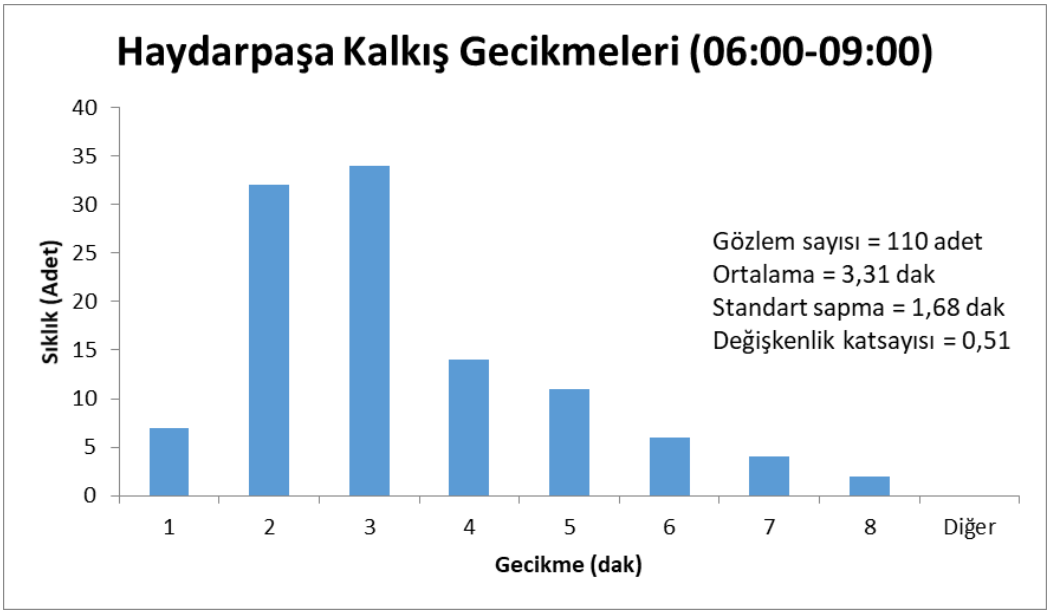
$$\mu = \frac{\sum x_i \cdot n_i}{n} \text{ ------> } \frac{\sum(1x7)+(2x32)+(3x34)+(4x14)+(5x11)+(6x6)(7x4)+(8x2)}{110}$$

= 3,31dak.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i-\mu)^2 \cdot n_i}{n}} \text{ ---> } \sqrt{\frac{\sum(1-3,31)^2 x\,(7)+(2-3,31)^2\,x\,(32)+.....+(8-3,31)^2\,x\,(2)}{110}}$$

= 1,68 dak.

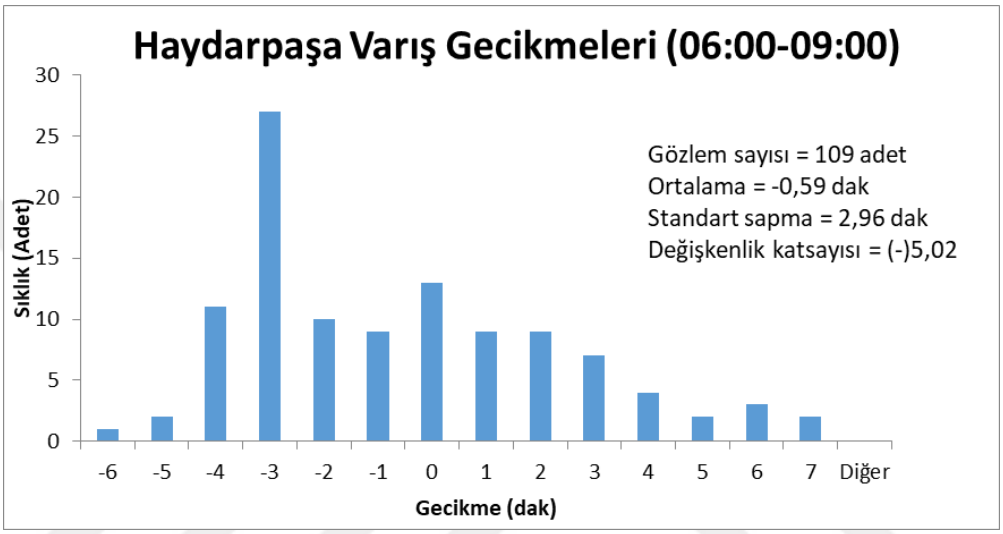
$$DK = \frac{\sigma}{\mu} \text{ -----> } \frac{1,68}{3,31} = 0,51$$



Şekil 2.3 Haydarpaşa'dan kalkış gecikmelerinin dağılımı (sabah zirvesi)

2.2.2 Haydarpaşa'ya Varışların Gecikme Analizi (Sabah Zirvesi)

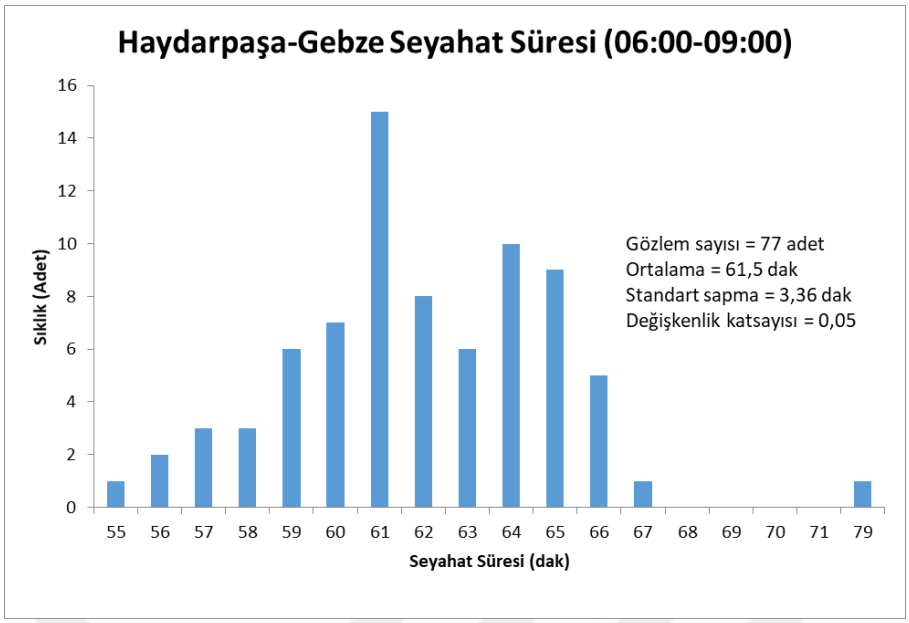
Sabah zirve saatlerde, Haydarpaşa istasyonuna varış gecikmelerinin analizinde görülmüştür ki; gecikmelerin ortalama değeri -0,59 dakika, standart sapması 2,96 dakika ve değişkenlik katsayısı (-)5.02 olarak bulunmuştur ve Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Değişkenlik katsayısının büyük değer alması, ortalama varış gecikmelerine göre varış gecikmelerindeki değişkenliğin oldukça büyük (beş katı, %502) olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.4 Haydarpaşa'ya varış gecikmelerinin dağılımı (sabah zirvesi)

2.2.3 Haydarpaşa-Gebze Yönünde Trenlerin Toplam Seyir Sürelerinin Analizi (Sabah Zirvesi)

Haydarpaşa-Gebze yönündeki trenlerin orerdeki planlanan toplam seyir süresi 65 dakikadır. Sabah zirve saatlerde, Haydarpaşa-Gebze yönündeki hat için toplam seyir sürelerinin ortalama değeri 61,50 dakika, standart sapması 3,36 dakika ve değişkenlik katsayısı 0,05 olarak bulunmuştur ve Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Bu değişkenlik derecesi, Haydarpaşa-Gebze yönünde trenlerin toplam seyir sürelerinin ortalamaya göre çok az (%5 mertebesinde) değişken olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.5 Haydarpaşa-Gebze seyir süreleri (sabah zirvesi)

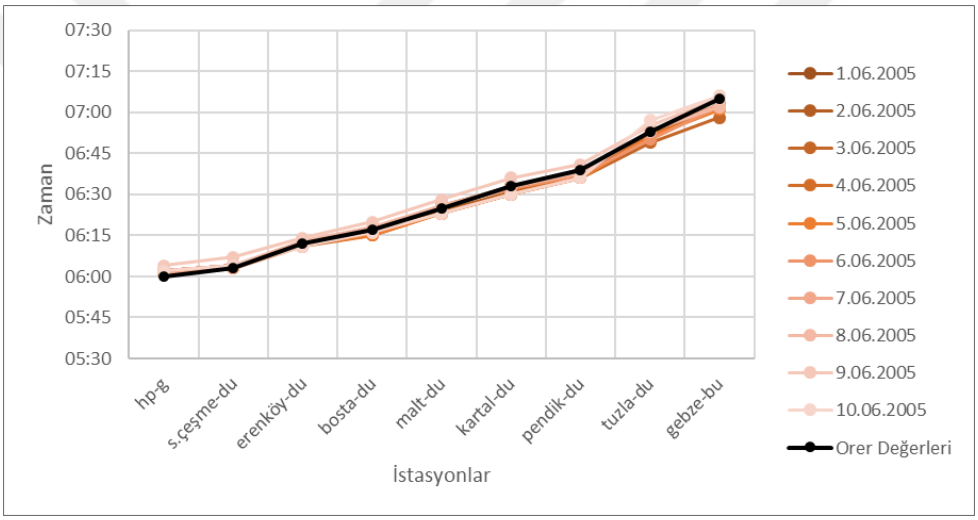
2.2.4 12 Numaralı Trenin Gecikme Analizi (Haydarpaşa-Gebze Yönü Sabah Zirvesinde)

Sabah zirve saatlerinde Haydarpaşa istasyonundan kalkışlı olup, Gebze istasyonuna varışlı olan 14 adet trenden, 12 numaralı tren örnek olarak incelenmiştir. 12 numaralı trenin Haydarpaşa istasyonundan sabah 6:00'da kalkması ve 07:05'de Gebze istasyonuna varması planlanmıştır. Gerçekleşen kalkış zamanı, istasyonlar arası seyir süresi ve gerçekleşen varış zamanında ise 10 gün boyunca genel olarak görülmüştür ki; 12 numaralı tren, Haydarpaşa istasyonundan 2-4 dakika mertebesinde gecikmeli olarak hareketine başlamıştır. Bu gecikmeli kalkışların istasyonlar arası seyir süresince telafi edilip, ya planlanandan 1-3 dakika mertebesinde erken geldiği ya da tam zamanında geldiği görülmüştür. Fakat bazı günler 1-4 dakika mertebesinde istasyona gecikmeli varışla geldiği de olmuştur. Ara istasyonlarda planlanandan daha erken kalkışların olması yolcuları mağdur edeceğinden, istasyonlar arası seyir esnasında, hareketin daha yavaş olması gerektiği düşünülmüştür. Haydarpaşa istasyonu kalkışlı olan 12 numaralı trenin 10 gün boyunca son istasyon olan Gebze istasyonuna; 8 gün 2-7 dakika mertebesinde erken geldiği gözlemlenmiştir. Bir gün tam zamanında vardığı gözlemlenmiş, 1 gün ise 1 dakika mertebesinde geciktiği gözlemlenmiştir. Bu veriler Tablo 2.1'de Şekil

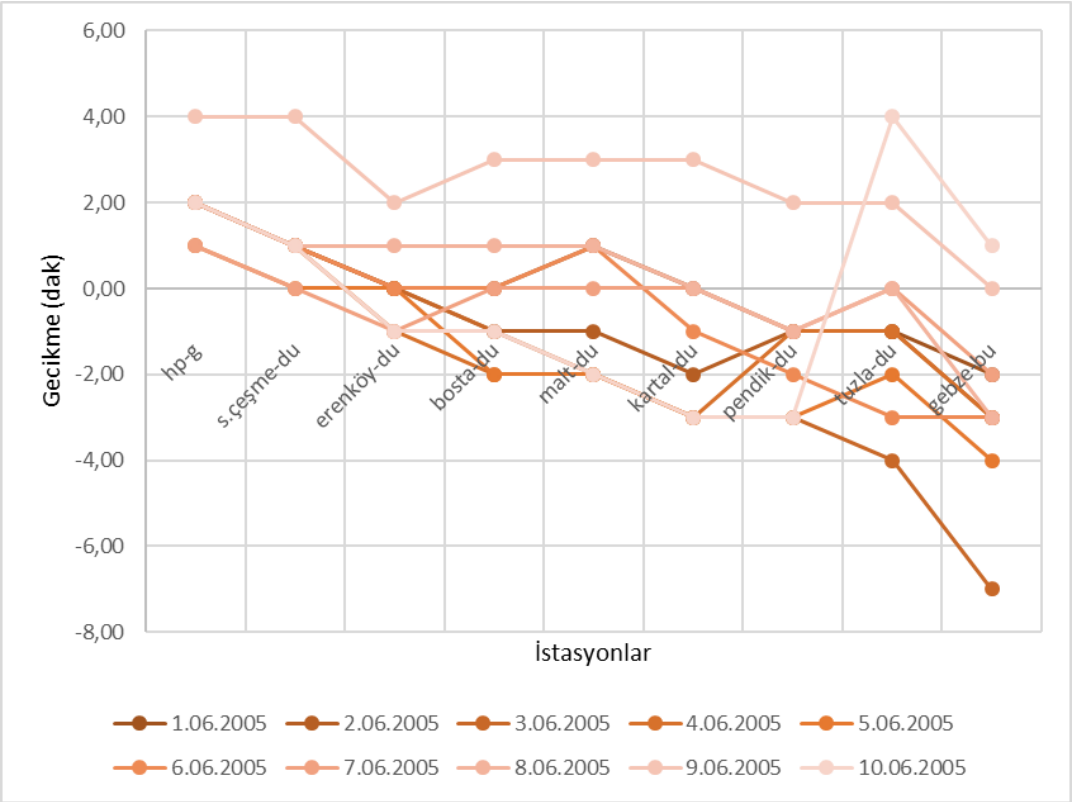
2.6 ve Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Bir dakika mertebesinde gecikmenin yolcular açısından çok mağduriyet yaratmayacağı düşünülmüştür.

Tablo 2.1 Haydarpaşa-Gebze yönünde seyreden 12 numaralı trenin orer ve gerçekleşen kalkış zamanları (Gebze için varış zamanı)

	ORER	1.06.2005	2.06.2005	3.06.2005	4.06.2005	5.06.2005	6.06.2005	7.06.2005	8.06.2005	9.06.2005	10.06.2005
hp-g	06:00	06:02	06:02	06:02	06:02	06:01	06:02	06:01	06:02	06:04	06:02
s.çeşme-du	06:03	06:04	06:04	06:04	06:04	06:03	06:04	06:03	06:04	06:07	06:04
erenköy-du	06:12	06:12	06:12	06:12	06:11	06:12	06:12	06:11	06:13	06:14	06:11
bosta-du	06:17	06:17	06:16	06:16	06:15	06:15	06:17	06:17	06:18	06:20	06:16
malt-du	06:25	06:26	06:24	06:23	06:23	06:23	06:26	06:25	06:26	06:28	06:23
kartal-du	06:33	06:33	06:31	06:30	06:30	06:30	06:32	06:33	06:33	06:36	06:30
pendik-du	06:39	06:38	06:38	06:36	06:38	06:36	06:37	06:38	06:38	06:41	06:36
tuzla-du	06:53	06:52	06:52	06:49	06:52	06:51	06:50	06:53	06:53	06:55	06:57
gebze-bu	07:05	07:03	07:02	06:58	07:02	07:01	07:02	07:03	07:02	07:05	07:06



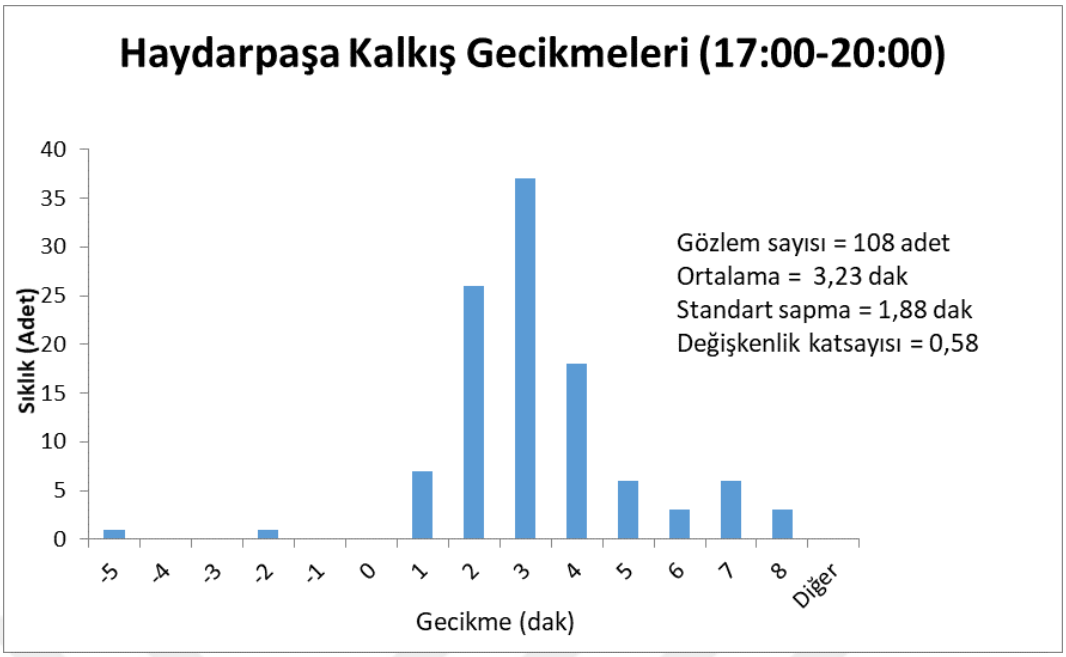
Şekil 2.6 Haydarpaşa-Gebze yönünde seyreden 12 numaralı trenin orer ve gerçekleşen kalkış zamanları (Gebze için varış zamanı)



Şekil 2.7 Haydarpaşa-Gebze yönünde seyreden 12 numaralı trenin istasyonlardan kalkış gecikmeleri (Gebze için varış gecikmeleri)

2.2.5 Haydarpaşa'dan Kalkışların Gecikme Analizi (Akşam Zirvesi)

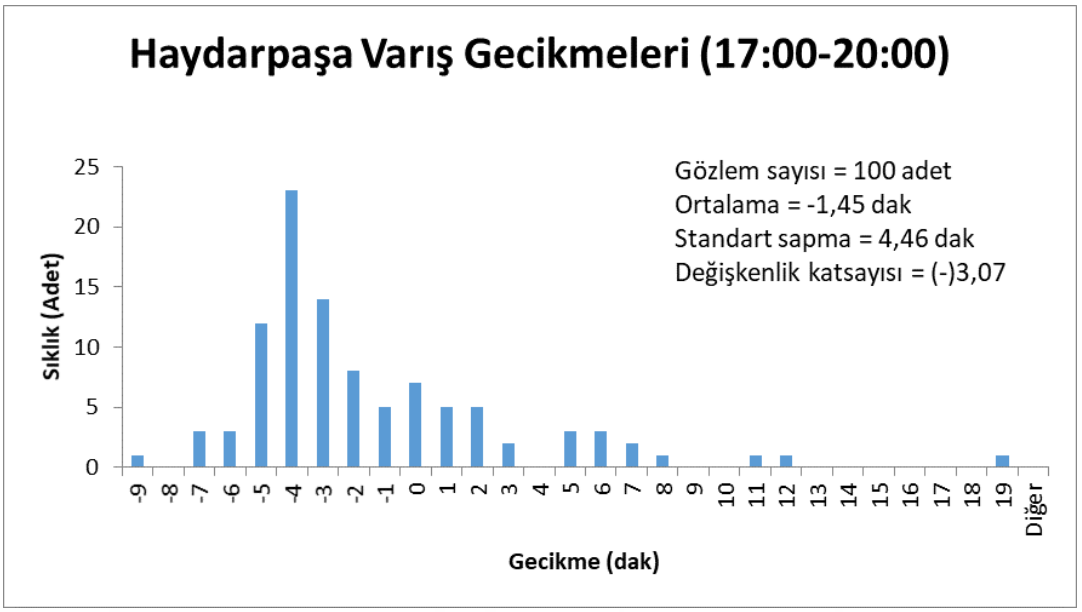
Akşam zirve saatlerde Haydarpaşa kalkışlı olan 14 adet trenin 108 adet seferi incelenmiştir. Eldeki veriler ışığı altında akşam zirve saatlerde bu trenlerin Haydarpaşa'dan kalkıştaki gecikmelerinin ortalama değeri 3,23 dakika, standart sapması 1,88 dakika ve değişkenlik katsayısı 0,58 olarak bulunmuştur. Kalkış gecikmelerinin ortalamasına göre değişkenliğinin (standart sapmasının) görece düşük olduğu, bu nedenle değişkenlik katsayısının 0,58 gibi küçük bir değer aldığı görülmektedir. Kalkış gecikmelerinin histogram grafiği ve istatistiksel büyüklükleri Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Haydarpaşa'dan kalkışların sabah ve akşam zirve saatlerdeki gecikmelerinin karşılaştırılmasından önemli sonuçlar elde edilebilmektedir. Buna göre, kalkış gecikmesi istatistiklerinin büyük oranda benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Sabah ve akşam zirvelerinde, sırasıyla, kalkış gecikmelerinin ortalamaları 3,31 dak ve 3,23 dak, standart sapmaları 1,68 dak ve 1,88 dak, değişkenlik katsayıları da 0,51 ve 0,58 değerlerini almıştır.



Şekil 2.8 Haydarpaşa'dan kalkış gecikmelerinin dağılımı (akşam zirvesi)

2.2.6 Haydarpaşa'ya Varışların Gecikme Analizi (Akşam Zirvesi)

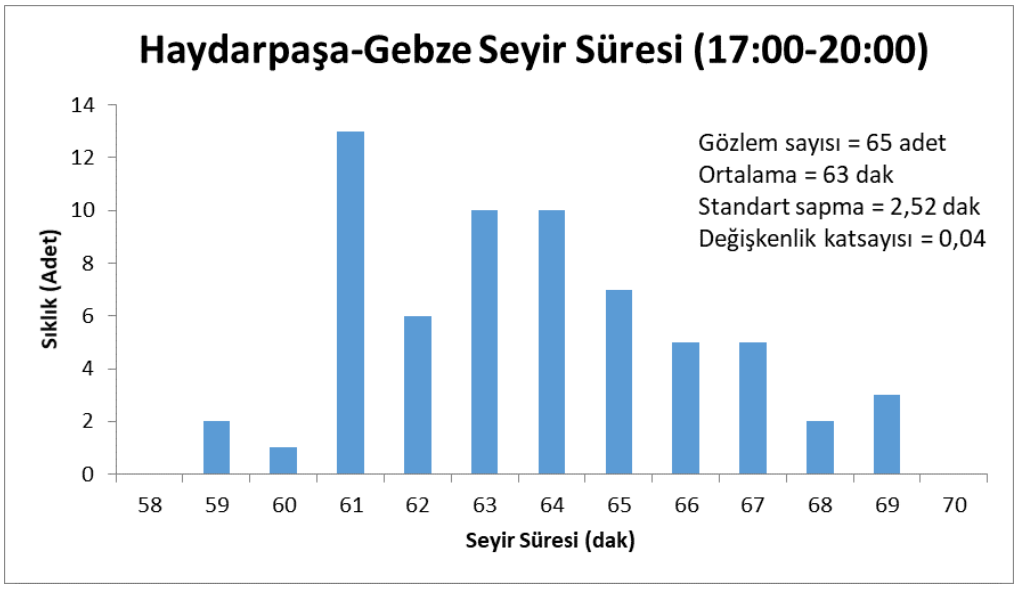
Akşam zirve saatlerinde, Haydarpaşa istasyonuna varış gecikmelerinin analizinde görülmüştür ki; gecikmelerin ortalama değeri -1,45 dakika, standart sapması 4,46 dakika ve değişkenlik katsayısı (-)3,07 olarak bulunmuştur ve Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Sabah ve akşam zirve saatlerde Haydarpaşa garına varışlardaki gecikmeler benzer eğilim göstermektedir. Varışların ortalaması planlanandan erken gerçekleşmekte, değişkenlik katsayılarının büyüklüğü, varış zamanlarındaki değişkenliği işaret etmektedir. Sabah zirvesindeki varış zamanlarının değişkenliğinin akşam varışlarına göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 2.9 Haydarpaşa'dan varış gecikmelerinin dağılımı (akşam zirvesi)

2.2.7 Haydarpaşa-Gebze Yönünde Trenlerin Toplam Seyir Sürelerinin Analizi (Akşam Zirvesi)

Haydarpaşa-Gebze yönündeki trenlerin orerdeki planlanan toplam seyir süresi akşam zirvesinde de 65 dakikadır. Akşam zirve saatlerde, Haydarpaşa-Gebze yönündeki hat için toplam seyir sürelerinin ortalama değeri 63,00 dakika, standart sapması 2,52 dakika ve değişkenlik katsayısı 0,04 olarak bulunmuştur ve Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Haydarpaşa-Gebze yönündeki trenlerin sabah ve akşam toplam seyir süreleri benzer değişkenlik göstermiştir. Her iki zaman dilimindeki seyir sürelerinin değişkenlik katsayıları %4-5 mertebesinde olup, oldukça dengelidir.



Şekil 2.10 Haydarpaşa-Gebze seyir süreleri (akşam zirvesi)

2.2.8 80 Numaralı Trenin Gecikme Analizi (Haydarpaşa-Gebze Yönü Akşam Zirvesinde)

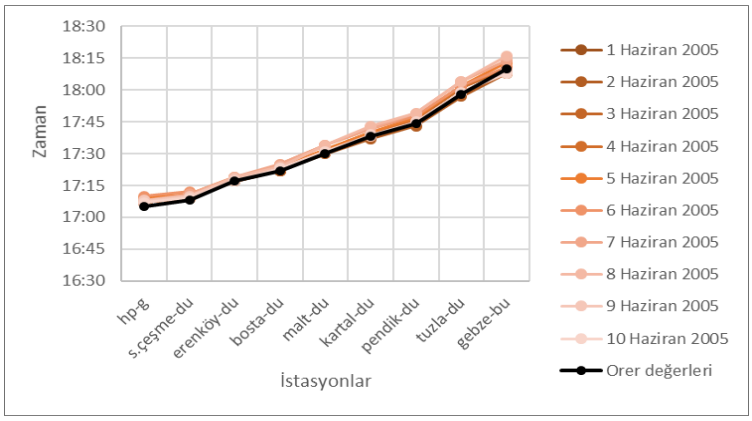
Akşam zirve saatlerinde, Haydarpaşa istasyonundan kalkışlı olup, Gebze istasyonuna varışlı olan 14 adet trenden 80 numaralı tren ele alınmıştır. 80 numaralı trenin 17:05'te kalkması, 18:10'da Gebze istasyonuna varması planlanmıştır. Gerçekleşen kalkış zamanı, istasyonlar arası seyir süresi ve gerçekleşen varış zamanında ise 10 gün boyunca genel olarak görülmüştür ki; 80 numaralı tren, Haydarpaşa istasyonundan 2-5 dakika mertebesinde gecikmeli olarak hareketine başlamıştır.

Burada etkili olan faktör, yolcuların planlanan kalkış zamanına göre Haydarpaşa istasyonuna gelmesidir. Bu durumda planlanandan önce gerçekleşecek olan bir seyir başlangıcının, yolcuları mağdur edecektir. Gecikmeli kalkışların ise istasyonlar arası seyir süresince telafi edilip; ya tam zamanında ya da 1 dakika mertebesinde istasyona gecikmeli varışla geldiği gözlemlenmiştir. İstasyonlardan gecikmeli kalkışların seyir esnasında daha hızlı hareket edilerek telafi edildiği görülmüştür. İstasyona planlanandan erken zamanda gelmemesinin sebebi ise yine yolcuların, planlanan zamanda istasyonda olacağının düşünülmüş olmasıdır. Bu durumda yine olası bir erken kalkış, yolcuları mağdur edecektir. Bazı günlerde Haydarpaşa

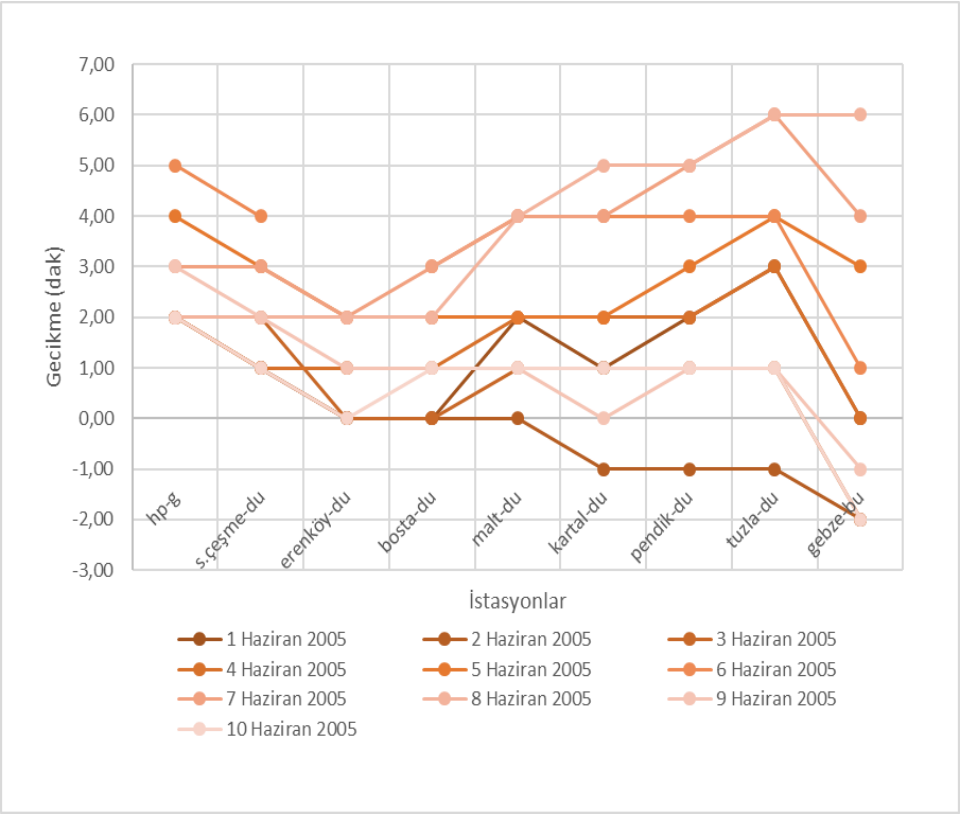
istasyonu kalkışlı olan 80 numaralı trenin Gebze istasyonuna varırken, son istasyon çifti olan Tuzla-Gebze hattında, olması gerekenden daha hızlı hareket ettiği görülmüştür. Trenin seyir esnasındaki bu hızlı hareketinin sonucu olarak, son istasyon olan Gebze istasyonuna, planlanan zamandan erken vardığı tespit edilmiştir. Bunun ise yolcular açısından bir mağduriyetin aksine avantaj olduğu düşünülmüştür. Yine de bazı günlerde son istasyon olan Gebze'ye ya tam zamanında varış gerçekleşmiş ya da planlanan zamandan daha geç bir zamanda varışlar gerçekleşmiştir. Gecikmeli günlerde, planlanan zamandan 6 dakika mertebesinde gecikmenin olduğu gün gözlemlenmiştir. Bu veriler Tablo 2.2'de, Şekil 2.11'de ve Şekil 2.12'de gösterilmiştir. Bu, özellikle aktarma yaparak yoluna devam etmek isteyen yolcular açısından önemli bir zaman kaybıdır. Bu zaman kaybının telafi edilmesi için gerekli iyileştirmelerin yapılması gerekliliği bariz olarak ortaya çıkmaktadır.

Tablo 2.2 Haydarpaşa-Gebze yönünde seyreden 80 numaralı trenin orer ve gerçekleşen kalkış zamanları (Gebze için varış zamanı)

	ORER	1.06.2005	2.06.2005	3.06.2005	4.06.2005	5.06.2005	6.06.2005	7.06.2005	8.06.2005	9.06.2005	10.06.2005
hp-g	17:05	17:07	17:07	17:07	17:07	17:09	17:10	17:08	17:07	17:08	17:07
s.çeşme-du	17:08	17:09	17:09	17:10	17:09	17:11	17:12	17:11	17:10	17:10	17:09
erenköy-du	17:17	17:17	17:17	17:17	17:18	17:19		17:19	17:19	17:18	17:17
bosta-du	17:22	17:22	17:22	17:22	17:23	17:24	17:25	17:25	17:24	17:23	17:23
malt-du	17:30	17:32	17:30	17:31	17:32	17:32	17:34	17:34	17:34	17:31	17:31
kartal-du	17:38	17:39	17:37	17:39	17:40	17:40	17:42	17:42	17:43	17:38	17:39
pendik-du	17:44	17:46	17:43	17:45	17:46	17:47	17:48	17:49	17:49	17:45	17:45
tuzla-du	17:58	18:01	17:57	17:59	18:01	18:02	18:02	18:04	18:04	17:59	17:59
gebze-bu	18:10	18:10	18:08	18:08	18:10	18:13	18:11	18:14	18:16	18:09	18:08



Şekil 2.11 Haydarpaşa-Gebze yönünde seyreden 80 numaralı trenin orer ve gerçekleşen kalkış zamanları (Gebze için varış zamanı)



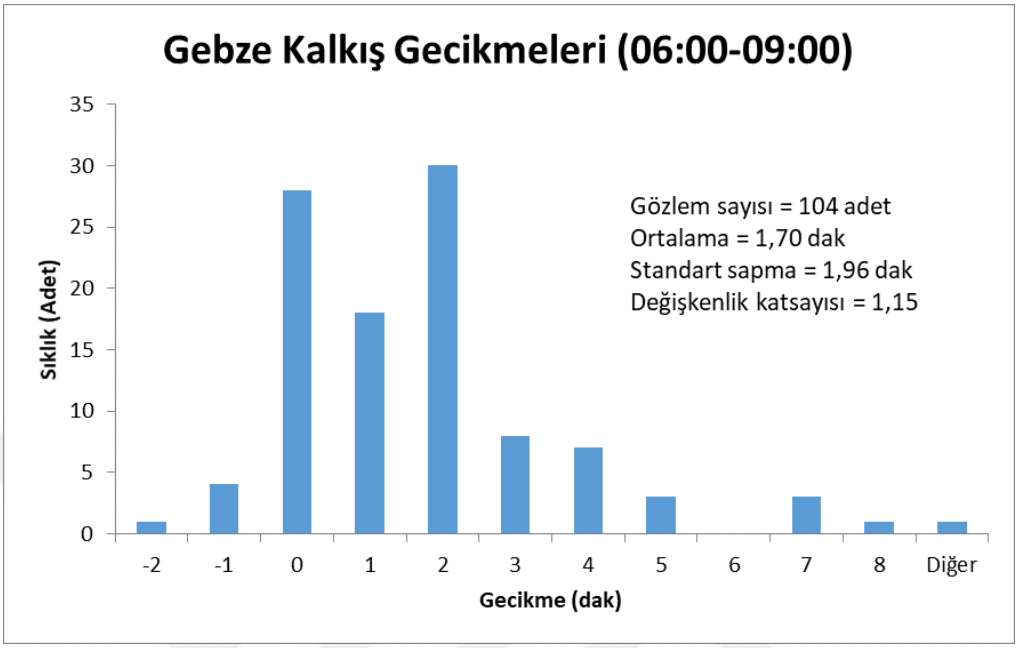
Şekil 2.12 Haydarpaşa-Gebze yönünde seyreden 80 numaralı trenin istasyonlardan kalkış gecikmeleri (Gebze için varış gecikmeleri)

Haydarpaşa-Gebze yönünde sabah ve akşam zirve saatlerde hizmet veren 12 ve 80 numaralı trenlerin istasyonlardaki kalkış gecikmeleri sırasıyla incelenmiştir. Bu trenlerin kalkış gecikmeleri karşılaştırılırsa, 12 numaralı sabah treninin güzergahı boyunca istasyonlardan çoğunlukla erken kalkış yaptığı ve Gebze istasyonuna erken vardığı görülmektedir. Buna karşın, 80 numaralı akşam treninin ise istasyonlardan çoğunlukla geç kalkış yaptığı ve Gebze'ye geç vardığı anlaşılmaktadır. İstasyonlardan kalkış zamanlarındaki bu sapmalar tren hizmetlerine olan güvenilirliği olumsuz etkileyebileceğinden, çizelgeye bağlılık için önlemler alınmalıdır.

2.2.9 Gebze'den Kalkışların Gecikme Analizi (Sabah Zirvesi)

Sabah zirve saatlerde Gebze kalkışlı olan 14 adet trenin 104 adet seferi incelenmiştir. Eldeki veriler ışığı altında sabah zirve saatlerinde bu trenlerin Gebze'den kalkıştaki gecikmelerinin ortalama değeri 1,70 dakika, standart sapması

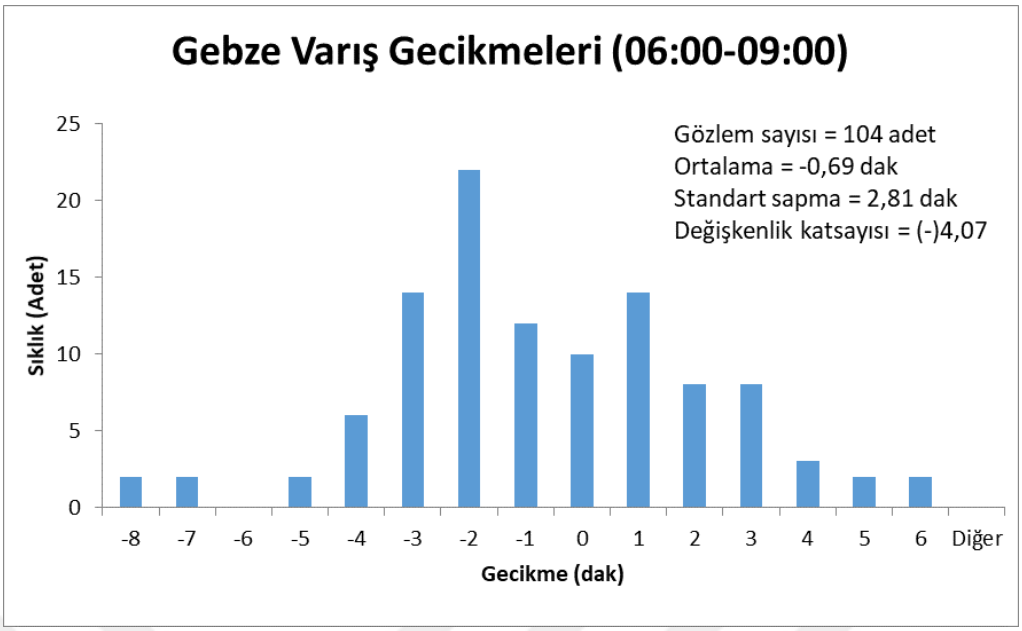
1,96 dakika ve değişkenlik katsayısı 1,15 olarak bulunmuştur. Buna göre, dağınıklık derecesi ortalama değerin yaklaşık %15 üzerindedir. Kalkış gecikmelerinin histogram grafiği ve istatistiksel büyüklükleri Şekil 2.13'te gösterilmiştir.



Şekil 2.13 Gebze'den kalkış gecikmelerinin dağılımı (sabah zirvesi)

2.2.10 Gebze'ye Varışların Gecikme Analizi (Sabah Zirvesi)

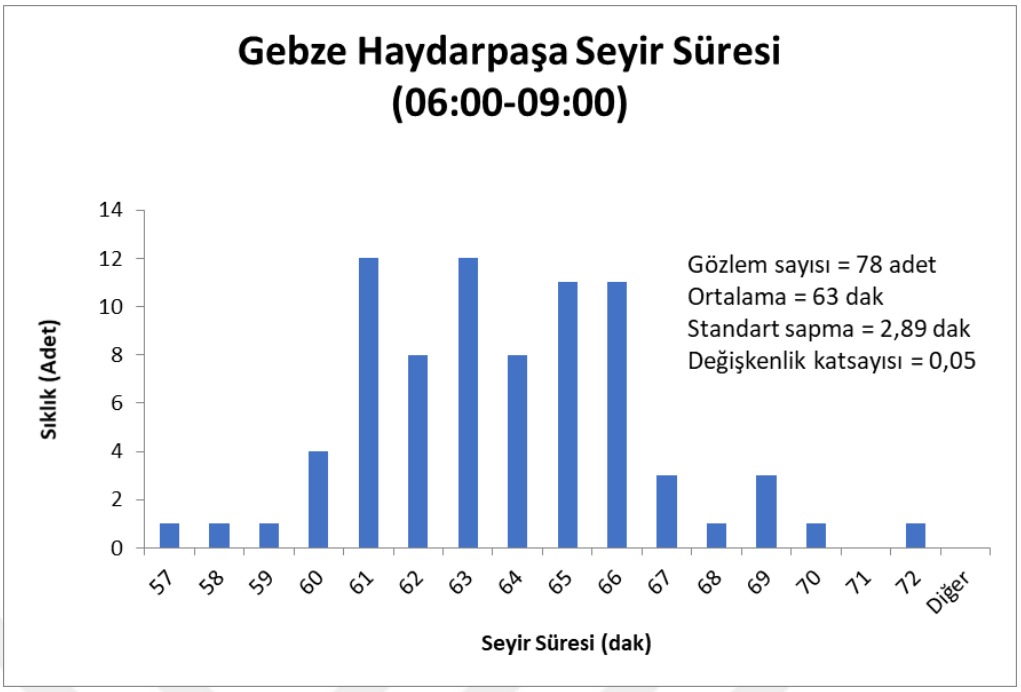
Sabah zirve saatlerde, Gebze istasyonuna varış gecikmelerinin analizinde görülmüştür ki; gecikmelerin ortalama değeri -0,69 dakika, standart sapması 2,81 dakika ve değişkenlik katsayısı (-)4,07 olarak bulunmuştur ve Şekil 2.14'te gösterilmiştir. Değişkenlik katsayısının büyük değer alması, ortalama varış gecikmelerine göre varış gecikmelerindeki değişkenliğin oldukça büyük (dört katı, %407) olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.14 Gebze'den varış gecikmelerinin dağılımı (sabah zirvesi)

2.2.11 Gebze-Haydarpaşa Yönünde Trenlerin Toplam Seyir Sürelerinin Analizi (Sabah Zirvesi)

Gebze-Haydarpaşa yönündeki trenlerin orerdeki planlanan toplam seyir süresi 65 dakikadır. Sabah zirve saatlerde, Gebze-Haydarpaşa yönündeki hat için toplam seyir sürelerinin ortalama değeri 63,00 dakika, standart sapması 2,89 dakika ve değişkenlik katsayısı yaklaşık 0,05 olarak bulunmuştur ve Şekil 2.15'te gösterilmiştir. Bu değişkenlik derecesi, Gebze-Haydarpaşa yönünde trenlerin toplam seyir sürelerinin ortalamaya göre çok az (%5 mertebesinde) değişken olduğunu göstermektedir.



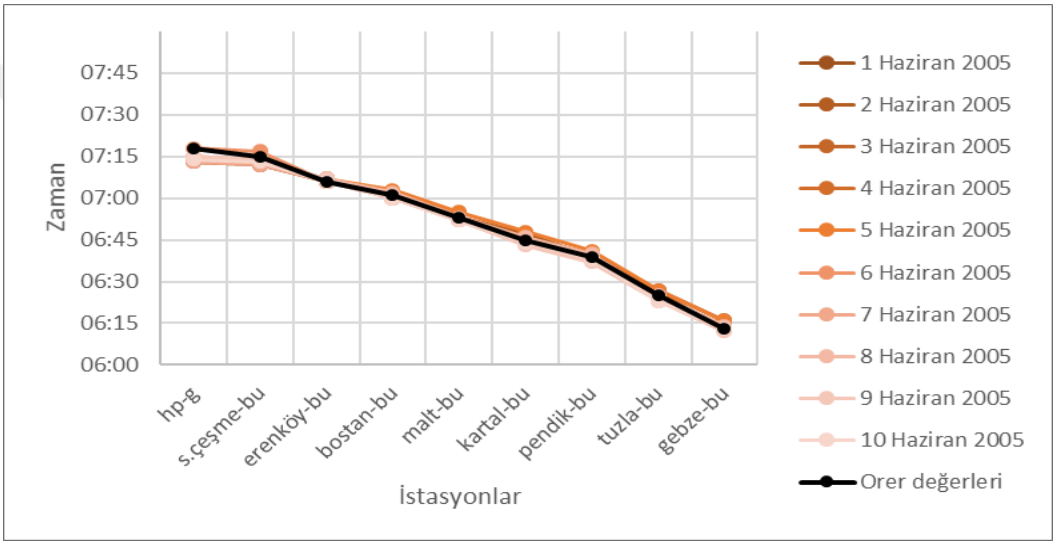
Şekil 2.15 Gebze-Haydarpaşa seyir süreleri (sabah zirvesi)

2.2.12 13 Numaralı Trenin Gecikme Analizi (Gebze-Haydarpaşa Yönü Sabah Zirvesinde)

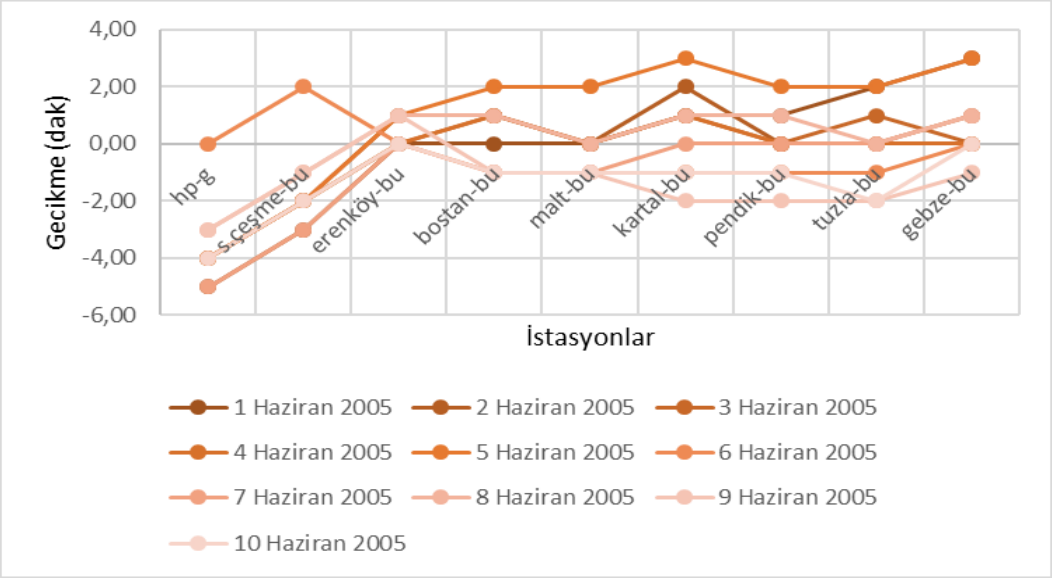
Sabah zirve saatleri için Gebze istasyonundan kalkışlı olup, Haydarpaşa istasyonuna varışlı olan 14 adet trenden, 13 numaralı tren örnek olarak incelenmiştir. 13 numaralı trenin Gebze istasyonundan sabah 06:13 kalkışlı ve 07:18'de Haydarpaşa istasyonuna varışlı olması planlanmıştır. Gerçekleşen kalkış zamanı, istasyonlar arası seyir süresi ve gerçekleşen varış zamanında ise 10 gün boyunca görülmüştür ki; 13 numaralı tren, Gebze istasyonundan ya 1 dakika erken, ya tam zamanında ya da 1-3 dakika mertebesinde hareketine gecikmeli olarak başlamıştır. Bu gecikmeli kalkışlar bazı günlerde istasyonlar arası seyir süresince telafi edilmiştir. Bu günlerde tren ya planlanandan 1-3 dakika mertebesinde erken ya da tam zamanında varmıştır. Bazı günlerde ise 1-3 dakika mertebesinde istasyona gecikmeli varışla geldiği gözlemlenmiştir. Gebze istasyonu kalkışlı olan 13 numaralı trenin 10 gün boyunca son istasyon olan Haydarpaşa istasyonuna, ya tam zamanında ya da 3-5 dakika mertebesinde erken geldiği gözlemlenmiştir. Bu veriler Tablo 2.3'te Şekil 2.16 ve Şekil 2.17'de gösterilmiştir. Bu durum daha önce incelenen örnek trenlerin aksine yolcularda herhangi bir mağduriyetin oluşmadığını göstermiştir.

Tablo 2.3 Gebze-Haydarpaşa yönünde seyreden 13 numaralı trenin orer ve gerçekleşen kalkış zamanları (Haydarpaşa için varış zamanı)

	ORER	1.06.2005	2.06.2005	3.06.2005	4.06.2005	5.06.2005	6.06.2005	7.06.2005	8.06.2005	9.06.2005	10.06.2005
hp-g	07:18	07:13	07:14	07:14	07:14	07:14	07:18	07:13	07:15	07:15	07:14
s.çeşme-bu	07:15	07:12	07:13	07:13	07:13	07:13	07:17	07:12	07:14	07:14	07:13
erenköy-bu	07:06	07:06	07:07	07:06	07:06	07:07	07:06	07:06	07:07	07:07	07:06
bostan-bu	07:01	07:01	07:02	07:02	07:02	07:03	07:00	07:00	07:02	07:00	07:00
malt-bu	06:53	06:53	06:53	06:53	06:53	06:55	06:52	06:52	06:53	06:52	06:52
kartal-bu	06:45	06:46	06:47	06:46	06:46	06:48	06:44	06:45	06:46	06:43	06:44
pendik-bu	06:39	06:40	06:39	06:39	06:39	06:41	06:38	06:39	06:40	06:37	06:38
tuzla-bu	06:25	06:27	06:25	06:26	06:25	06:27	06:24	06:25	06:25	06:23	06:23
gebze-bu	06:13	06:16	06:14	06:13	06:13	06:16	06:13	06:14	06:14	06:12	06:13



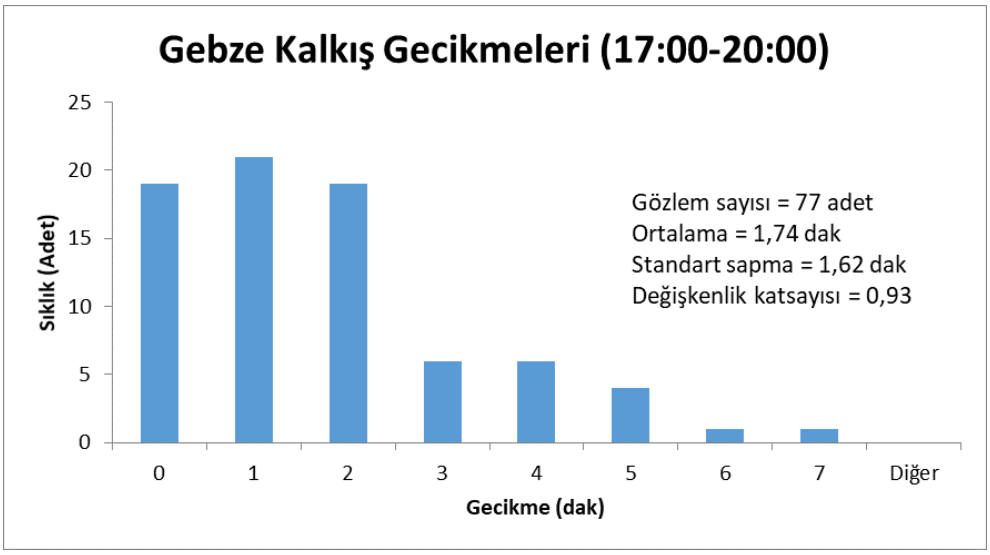
Şekil 2.16 Gebze-Haydarpaşa yönünde seyreden 13 numaralı trenin orer ve gerçekleşen kalkış zamanları (Haydarpaşa için varış zamanı)



Şekil 2.17 Gebze-Haydarpaşa yönünde seyreden 13 numaralı trenin istasyonlardan kalkış gecikmeleri (Haydarpaşa için varış gecikmeleri)

2.2.13 Gebze'den Kalkışların Gecikme Analizi (Akşam Zirvesi)

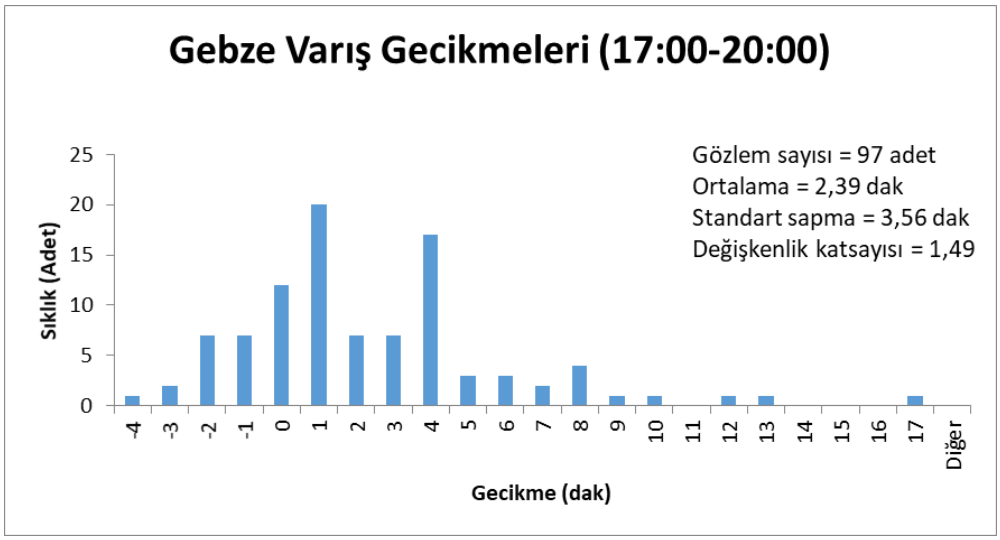
Akşam zirve saatlerde Gebze kalkışlı olan 14 adet trenin 77 adet seferi incelenmiştir. Eldeki veriler, akşam zirve saatlerde bu trenlerin Gebze'den kalkıştaki gecikmelerinin ortalama değerinin 1,74 dakika, standart sapmasının 1,62 dakika ve değişkenlik katsayısının 0,93 olduğunu göstermektedir. Kalkış gecikmelerinin ortalamasına göre değişkenliğinin (standart sapmasının) görece düşük olduğu, bu nedenle değişkenlik katsayısının 0,93 gibi küçük bir değer aldığı görülmektedir. Kalkış gecikmelerinin histogram grafiği ve istatistiksel büyüklükleri Şekil 2.18'de gösterilmiştir. Gebze'den kalkışların sabah ve akşam zirve saatlerdeki gecikmelerinin karşılaştırılmasından önemli sonuçlar elde edilebilmektedir. Buna göre, kalkış gecikmesi istatistiklerinin büyük oranda benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Sabah ve akşam zirvelerinde, sırasıyla, kalkış gecikmelerinin ortalamaları 1,70 dak ve 1,74 dak, standart sapmaları 1,96 dak ve 1,62 dak, değişkenlik katsayıları da 1,15 ve 0,93 değerlerini almıştır. Gecikmelerin dağılım oranlarının (sıklıklarının) da benzerlik gösterdiği söylenebilir.



Şekil 2.18 Gebze'den kalkış gecikmelerinin dağılımı (akşam zirvesi)

2.2.14 Gebze'ye Varışların Gecikme Analizi (Akşam Zirvesi)

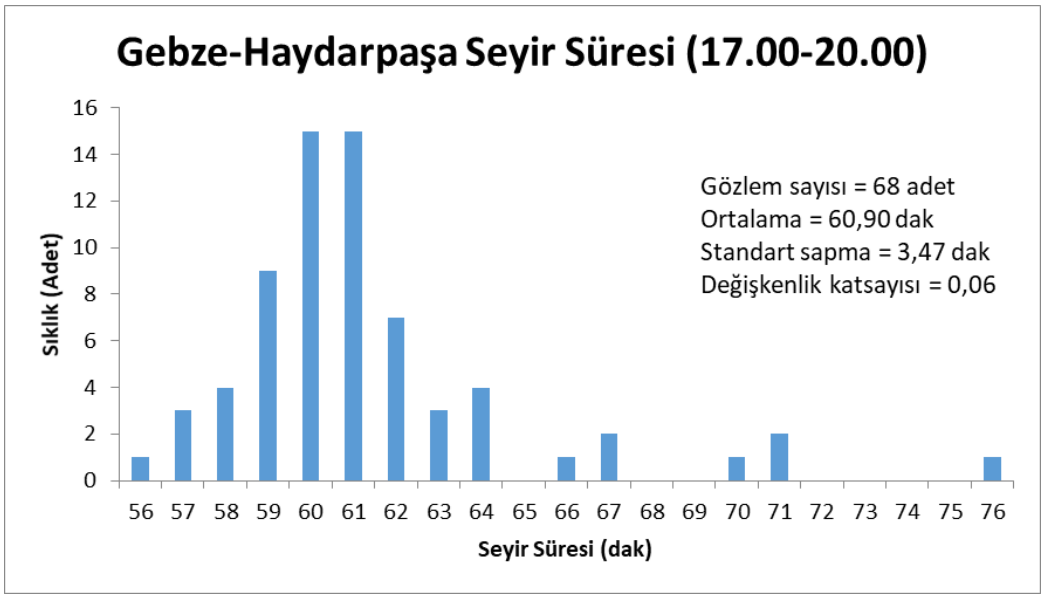
Akşam zirve saatlerinde, Gebze istasyonuna varış gecikmelerinin analizinde görülmüştür ki; gecikmelerin ortalama değeri 2,39 dakika, standart sapması 3,56 dakika ve değişkenlik katsayısı 1,49 olarak bulunmuştur ve Şekil 2.19'da gösterilmiştir. Sabah ve akşam zirve saatlerde Gebze garına varışlardaki gecikmeler kısmen farklılık göstermektedir. Varışların ortalaması sabah saatlerinde planlanandan erken gerçekleşmekte (-0,69 dak), ancak akşam ise varışlar (2,39 dak) genellikle planlanan zamanları aşmaktadır. Değişkenlik katsayılarının büyüklüğü, varış zamanlarındaki değişkenliği işaret etmektedir. Sabah zirvesindeki varış zamanlarının değişkenliğinin (-4,07) akşam varışlarına (1,49) göre çok daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 2.19 Gebze'den varış gecikmelerinin dağılımı (akşam zirvesi)

2.2.15 Gebze-Haydarpaşa Yönünde Trenlerin Toplam Seyir Sürelerinin Analizi (Akşam Zirvesi)

Gebze-Haydarpaşa yönündeki trenlerin orerdeki planlanan toplam seyir süresi akşam zirvesinde de 65 dakikadır. Akşam zirve saatlerde, Gebze-Haydarpaşa yönündeki hat için toplam seyir sürelerinin ortalama değeri 60,90 dakika, standart sapması 3,47 dakika ve değişkenlik katsayısı 0,06 olarak bulunmuştur ve Şekil 2.20'de gösterilmiştir. Gebze-Haydarpaşa yönündeki trenlerin sabah ve akşam toplam seyir süreleri benzer değişkenlik göstermiştir. Her iki zaman dilimindeki seyir sürelerinin değişkenlik katsayıları %5-6 mertebesinde olup, oldukça dengelidir.



Şekil 2.20 Gebze-Haydarpaşa seyir süreleri (akşam zirvesi)

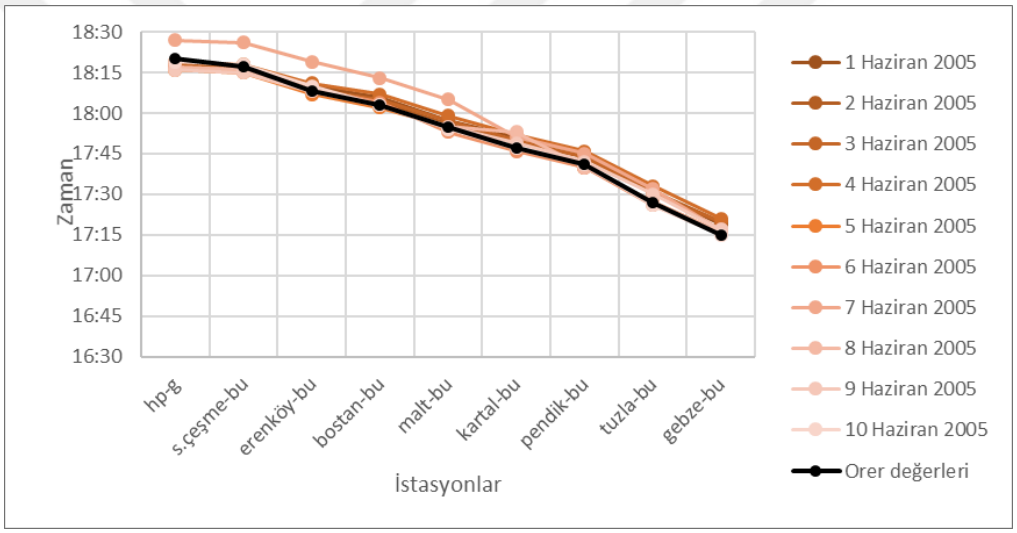
2.2.16 81 Numaralı Trenin Gecikme Analizi (Gebze-Haydarpaşa Yönü Akşam Zirvesinde)

Akşam zirve saatlerde ise Gebze istasyonundan kalkışlı olup, Haydarpaşa istasyonuna varışlı olan 14 adet trenden, 81 numaralı tren örnek olarak incelenmiştir. 81 numaralı trenin Gebze istasyonundan akşam 17:15 kalkışlı ve 18:20'de Haydarpaşa istasyonuna varışlı olması planlanmıştır. Gerçekleşen kalkış zamanı, istasyonlar arası seyir süresi ve gerçekleşen varış zamanında ise 10 gün boyunca görülmüştür ki; 81 numaralı tren, Gebze istasyonundan ya tam zamanında ya da 1-6 dakika mertebesinde gecikmeli olarak hareketine başlamıştır. Bu gecikmeli kalkışlar bazı günlerde istasyonlar arası seyir süresince telafi edilmiştir. Bu günlerde trenin, ara istasyonlara ya planlanandan 1-2 dakika mertebesinde erken ya da tam zamanında vardığı görülmüştür. Bazı günlerde ise 1-11 dakika mertebesinde istasyona gecikmeli varmıştır. Gebze istasyonu kalkışlı olan 81 numaralı trenin 10 gün boyunca son istasyon olan Haydarpaşa istasyonuna ise, ya tam zamanında ya da 1-4 dakika mertebesinde erken geldiği gözlemlenmiştir. Ancak, 7 Haziran tarihindeki 81 numaralı trenin ara istasyonlardan gecikmeli kalkışlar yaptığı ve Haydarpaşa istasyonuna 7 dakika gecikmeli vardığı görülmektedir.

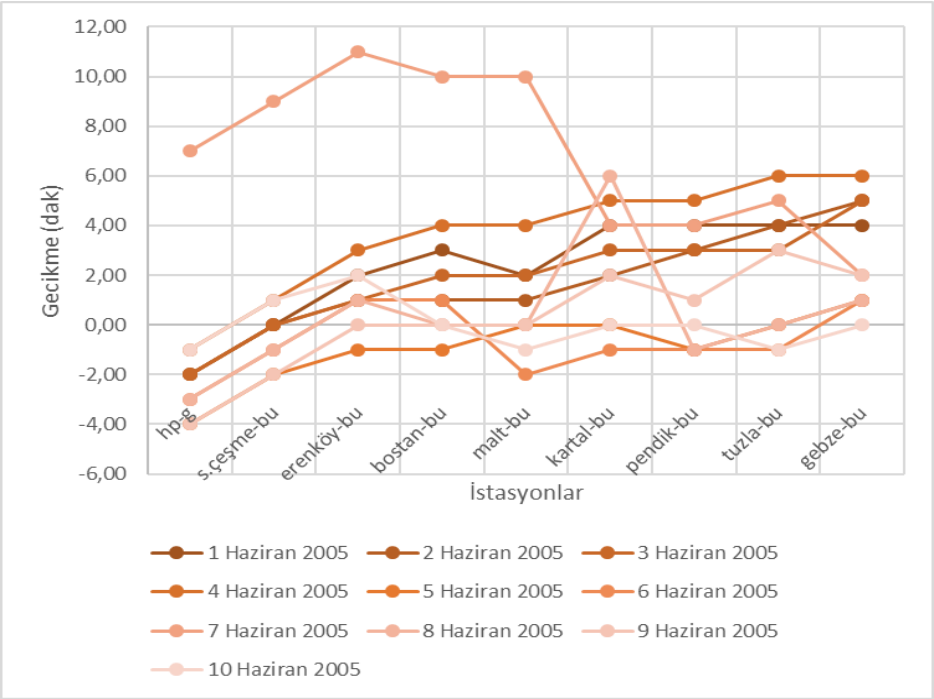
Bu veriler Tablo 2.4'te Şekil 2.21 ve Şekil 2.22'de gösterilmiştir. Bu gecikmeli durum daha önce incelenen örnek trenlerde de görülmüştür. Bu durum yolcular açısından mağduriyet yaratacaktır. Gerekli iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir.

Tablo 2.4 Gebze-Haydarpaşa yönünde seyreden 81 numaralı trenin orer ve gerçekleşen kalkış zamanları (Haydarpaşa için varış zamanı)

	ORER	1.06.2005	2.06.2005	3.06.2005	4.06.2005	5.06.2005	6.06.2005	7.06.2005	8.06.2005	9.06.2005	10.06.2005
hp-g	18:20	18:18	18:18	18:18	18:19	18:16	18:17	18:27	18:17	18:16	18:19
s.çeşme-bu	18:17	18:17	18:17	18:17	18:18	18:15	18:16	18:26	18:16	18:15	18:18
erenköy-bu	18:08	18:10	18:09	18:09	18:11	18:07	18:09	18:19	18:09	18:08	18:10
bostan-bu	18:03	18:06	18:04	18:05	18:07	18:02	18:04	18:13	18:03	18:03	18:03
malt-bu	17:55	17:57	17:56	17:57	17:59	17:55	17:53	18:05	17:55	17:55	17:54
kartal-bu	17:47	17:51	17:49	17:50	17:52	17:47	17:46	17:51	17:53	17:49	17:47
pendik-bu	17:41	17:45	17:44	17:44	17:46	17:40	17:40	17:45	17:40	17:42	17:41
tuzla-bu	17:27	17:31	17:31	17:30	17:33	17:27	17:26	17:32	17:27	17:30	17:26
gebze-bu	17:15	17:19	17:20	17:20	17:21	17:16	17:16	17:17	17:16	17:17	17:15



Şekil 2.21 Gebze-Haydarpaşa yönünde seyreden 81 numaralı trenin orer ve gerçekleşen kalkış zamanları (Haydarpaşa için varış zamanı)



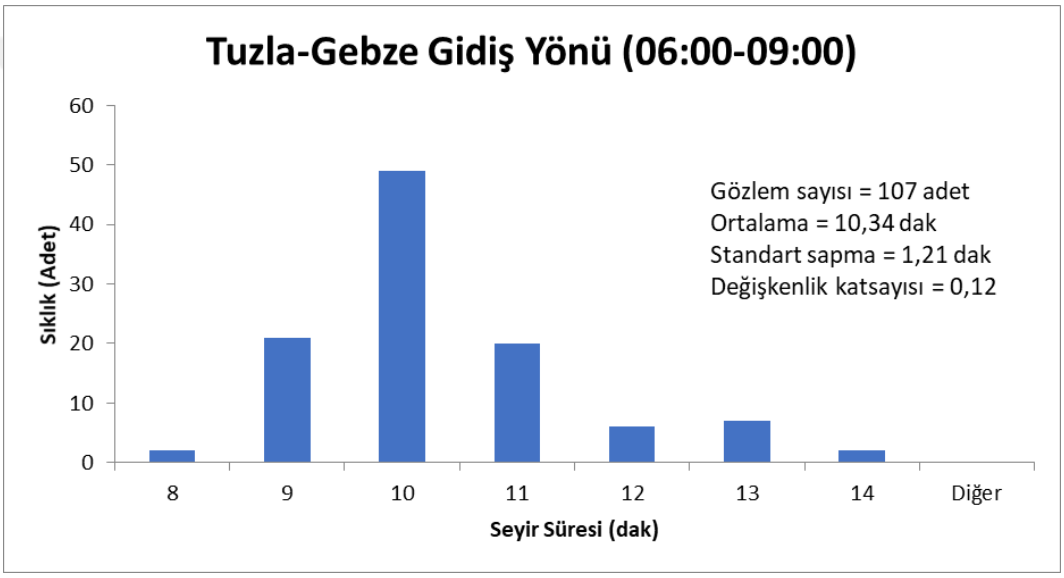
Şekil 2.22 Gebze-Haydarpaşa yönünde seyreden 81 numaralı trenin istasyonlardan kalkış gecikmeleri (Haydarpaşa için varış gecikmeleri)

Gebze-Haydarpaşa yönünde sabah ve akşam zirve saatlerde hizmet veren 13 ve 81 numaralı trenlerin istasyonlardaki kalkış gecikmeleri sırasıyla incelenmiştir. Bu trenlerin kalkış gecikmeleri karşılaştırılırsa, 13 numaralı sabah treninin güzergahı boyunca istasyonlardan bazen erken bazen de geç kalkış yaptığı ve Gebze istasyonuna çoğunlukla erken vardığı görülmektedir. Buna karşın, 81 numaralı akşam treninin ise Gebze'den genellikle geç hareket ettiği, seyri boyunca bu gecikmesini kısmen telafi ettiği ve Haydarpaşa'ya çoğunlukla erken vardığı anlaşılmaktadır. Gebze istasyonundan kalkış zamanlarındaki bu sapmalar tren hizmetlerine olan güvenilirliği olumsuz etkileyebileceğinden, çizelgeye bağlılık için önlemler alınmalıdır.

2.2.17 Tuzla-Gebze Yönünde Trenlerin Seyir Süreleri (Sabah Zirvesi)

Sabah zirve saatlerde 10 gün boyunca Tuzla istasyonundan kalkıp, Gebze istasyonuna varan toplam 107 adet tren incelenmiştir. Bu istasyon çifti arasında planlanan orer süresi (tabii seyir süresi) 12 dakikadır. Trenler incelenen 10 gün boyunca gerçekleşen seyir sürelerini ortalama 10 dakikada tamamlamakta,

trenlerin bu istasyonlar arasındaki seyirleri 8 dakika ile 14 dakika aralığında değişmektedir. İncelenen bu trenlerin ortalama seyir süresi 10,34 dakika, standart sapması 1,21 dakika ve değişkenlik katsayısı 0,12 (%12) olarak bulunmuştur. Seyir sürelerinin histogram grafiği ve istatistiksel büyüklükleri Şekil 2.23'te gösterilmiştir. Seyir sürelerinin ortalaması (10,34 dak) planlanan seyir süresinden (12 dak) kısadır. Fakat bazı trenlerin seyirlerini planlanan seyir süresinden geç tamamlamış olması, özellikle Gebze istasyonunda başka ulaştırma türlerine aktarma yapmak isteyen yolcular için mağduriyet yaratabilecektir. Bu da bize gerekli iyileştirmelerin (yani, seyirlerin planlandığı gibi) yapılması gerektiğini göstermektedir.

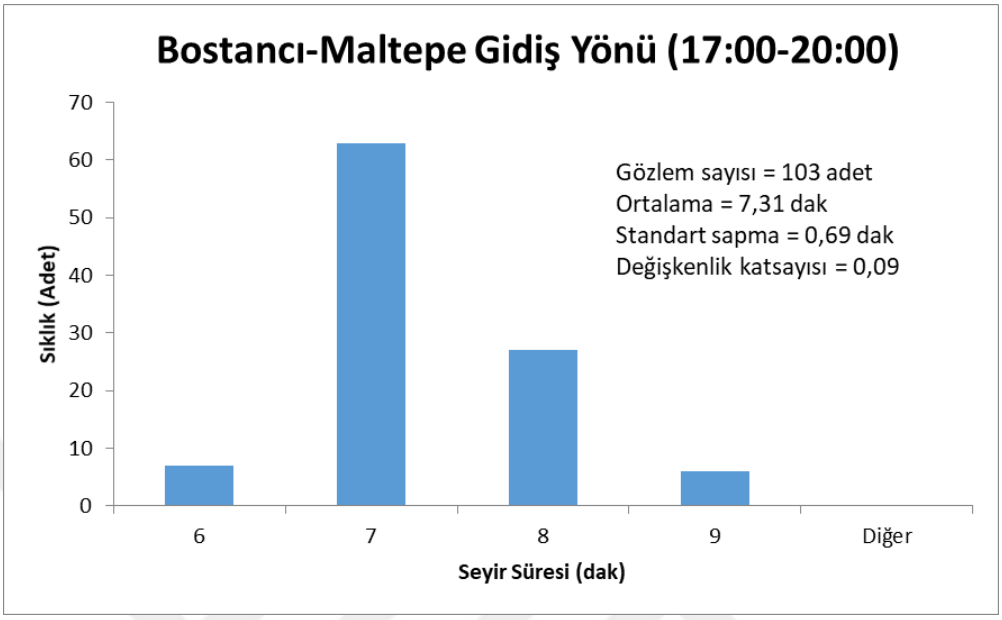


Şekil 2.23 Tuzla-Gebze seyir süreleri (sabah zirvesi)

2.2.18 Bostancı-Maltepe Yönünde Trenlerin Seyir Süreleri (Akşam Zirvesi)

Akşam zirve saatlerde 10 gün boyunca Bostancı istasyonundan kalkıp, Maltepe istasyonuna varan toplam 103 adet tren incelenmiştir. Bu istasyon çifti arasında planlanan orer süresi (tabii seyir süresi) 8 dakikadır. Trenler incelenen 10 gün boyunca bu istasyonlar arasındaki seyirlerini 6 dakika ile 9 dakika aralığında tamamlamıştır. İncelenen bu trenlerin ortalama seyir süresi 7,31 dakika, standart sapması 0,69 dakika ve değişkenlik katsayısı 0,09 (%9) olarak bulunmuştur. Seyir sürelerinin histogram grafiği ve istatistiksel büyüklükleri Şekil 2.24'te gösterilmiştir. Seyir sürelerinin ortalaması (7,31 dak) planlanan seyir süresinden (8

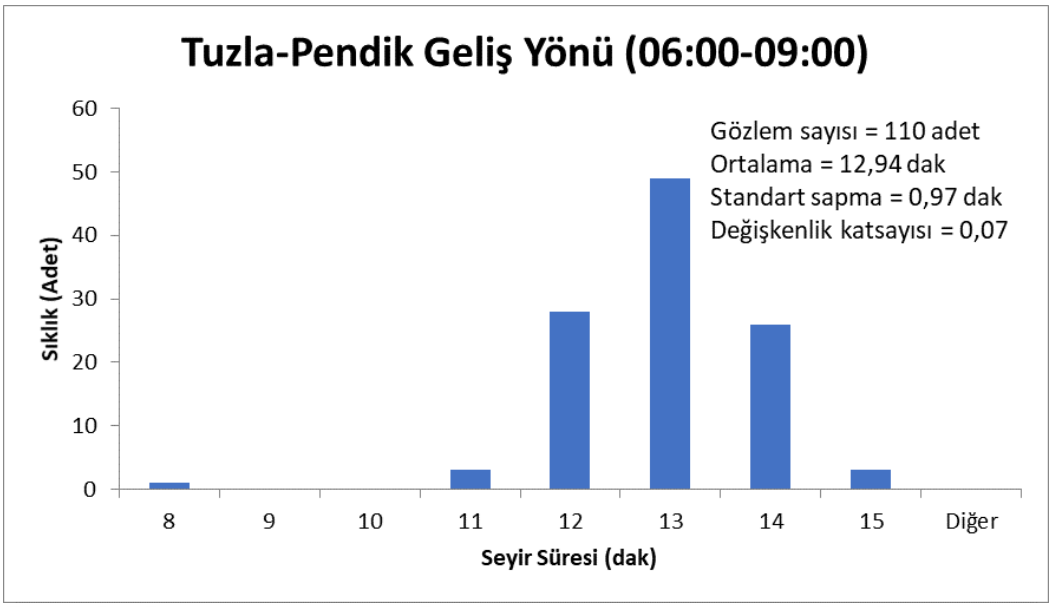
dak) kısadır. Fakat bazı trenlerin seyirlerini planlanan seyir süresinden geç tamamlamış olması, sonraki (ara) istasyonlarda muhtemel ek bir gecikmeye sebep olacağından, bu gecikmenin seyir sırasında telafi edilmesi beklenmelidir.



Şekil 2.24 Bostancı-Maltepe seyir süreleri (akşam zirvesi)

2.2.19 Tuzla-Pendik Yönünde Trenlerin Seyir Süreleri (Sabah Zirvesi)

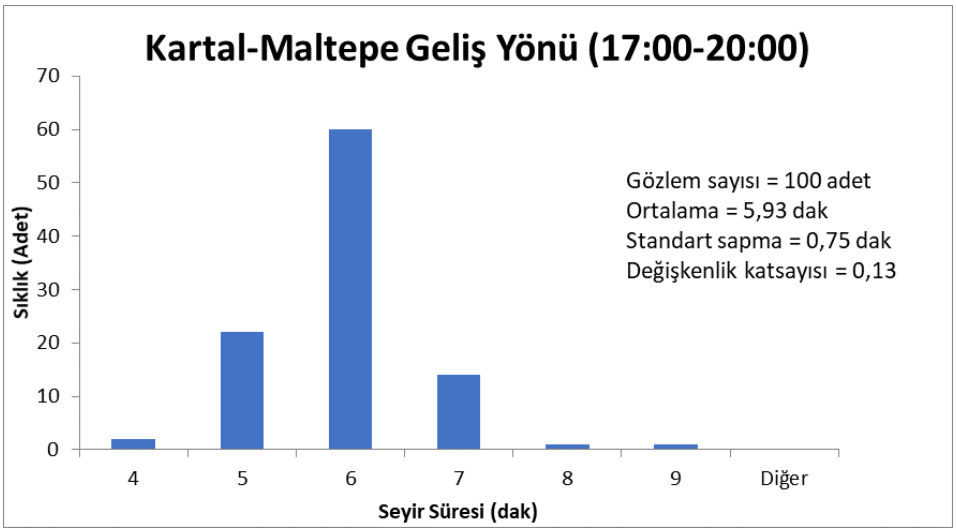
Sabah zirve saatlerde 10 gün boyunca Tuzla istasyonundan kalkıp, Pendik istasyonuna varan toplam 110 adet tren incelenmiştir. Bu istasyon çifti arasında planlanan orer süresi (tabii seyir süresi) 14 dakikadır. Trenler incelenen 10 gün boyunca gerçekleşen seyir sürelerini ortalama 13 dakikada tamamlamakta, seyir süreleri 8 dakika ile 15 dakika aralığında değişmektedir. İncelenen bu trenlerin ortalama seyir süresi 12,94 dakika, standart sapması 0,97 dakika ve değişkenlik katsayısı 0,07 (%7) olarak bulunmuştur. Seyir sürelerinin histogram grafiği ve istatistiksel büyüklükleri Şekil 2.25'te gösterilmiştir. Seyir sürelerinin ortalaması (12,94 dak) planlanan seyir süresinden (14 dak) kısadır. Fakat bazı trenlerin seyirlerini planlanan seyir süresinden daha erken tamamlamış olması, sonraki (ara) istasyonlarda muhtemel erken kalkışlara sebep olacağından, sürücülerin bu durumu dikkate alması gerekecektir.



Şekil 2.25 Tuzla-Pendik seyir süreleri (sabah zirvesi)

2.2.20 Kartal-Maltepe Yönünde Trenlerin Seyir Süreleri (Akşam Zirvesi)

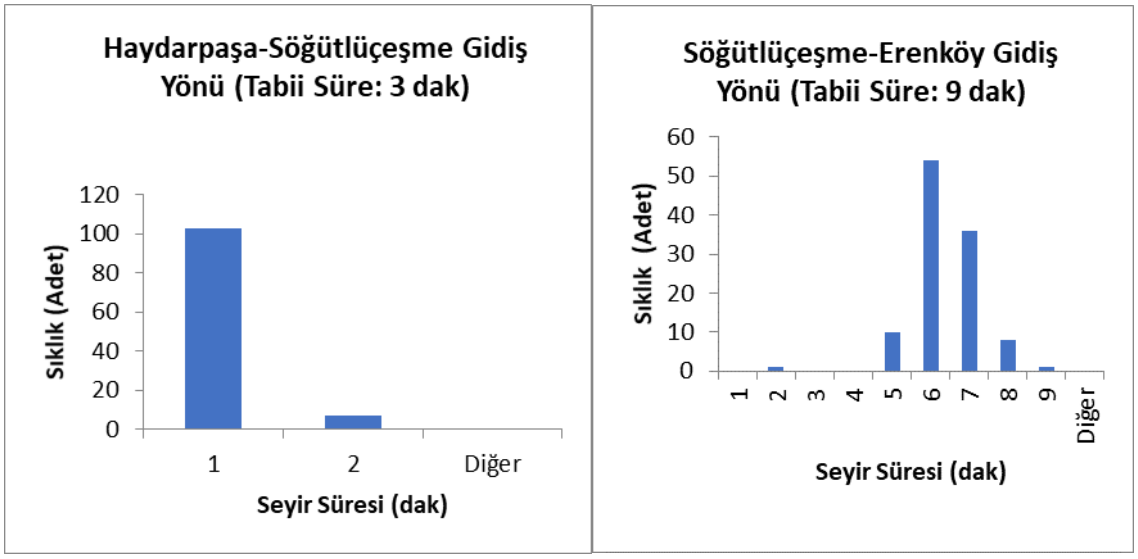
Akşam zirve saatlerde 10 gün boyunca Kartal istasyonundan kalkıp, Maltepe istasyonuna varan toplam 100 adet tren incelenmiştir. Bu istasyon çifti arasında planlanan orer süresi (tabii seyir süresi) 8 dakikadır. Trenler incelenen 10 gün boyunca bu istasyonlar arasındaki seyirlerini 4 dakika ile 9 dakika aralığında tamamlamıştır. İncelenen bu trenlerin ortalama seyir süresi 5,93 dakika, standart sapması 0,75 dakika ve değişkenlik katsayısı 0,13 (%13) olarak bulunmuştur. Seyir sürelerinin histogram grafiği ve istatistiksel büyüklükleri Şekil 2.26'da gösterilmiştir. Seyir sürelerinin ortalaması (5,93 dak) planlanan seyir süresinden (8 dak) kısadır. Fakat trenlerin çoğu seyirlerini planlanan süreden daha kısa sürede tamamlamıştır. Bu durum, trenlerin Maltepe ve izleyen diğer istasyonlardan erken kalkış yapmasına yol açabilecek ve tarife/orer zamanına göre istasyona gelen yolcuların treni kaçırmasına neden olabilecektir.



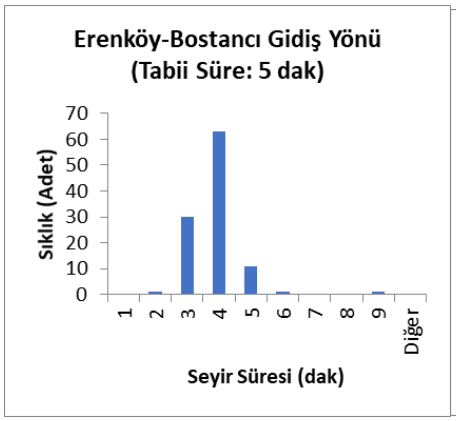
Şekil 2.26 Kartai-Maltepe seyir süreleri (akşam zirvesi)

2.2.21 Haydarpaşa-Gebze Yönünde Tüm İstasyon Çiftleri Arasındaki Seyir Süreleri (Sabah Zirvesi)

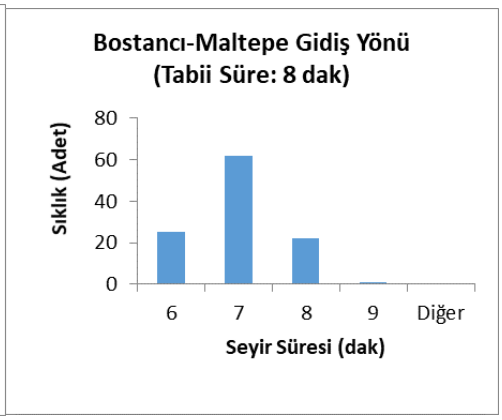
Yukarıda Tuzla-Gebze istasyon aralığında (yönünde) sabah zirvesinde hizmet veren banliyö trenlerinin seyir süreleri incelenmişti. Bu bölümde Haydarpaşa-Gebze yönünde sabah zirvesindeki trenlerin ardışık istasyon çiftleri arasındaki seyir sürelerinin grafikleri toplu halde Şekil 2.27a-h'de gösterilmiştir.



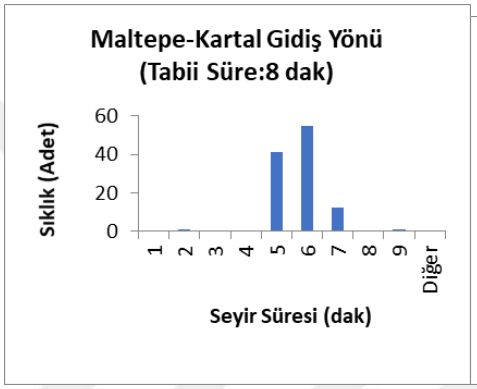
(a) (b)



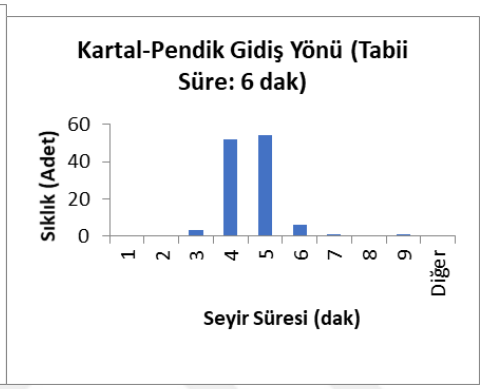
(c)



(d)



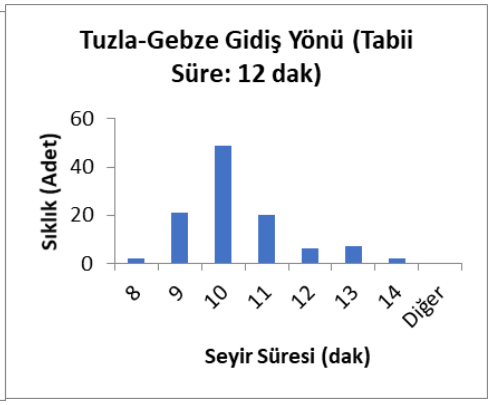
(e)



(f)



(g)

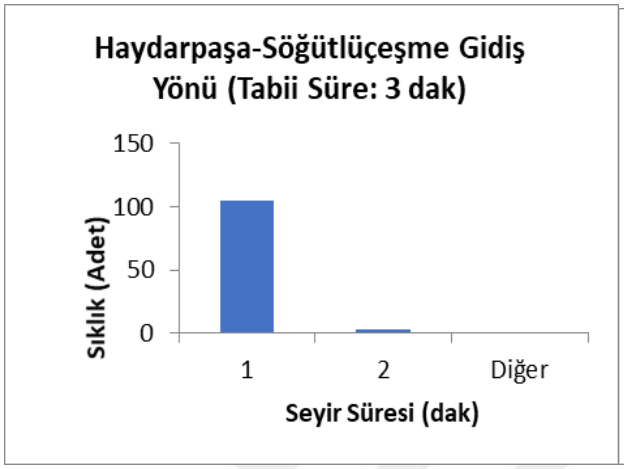


(h)

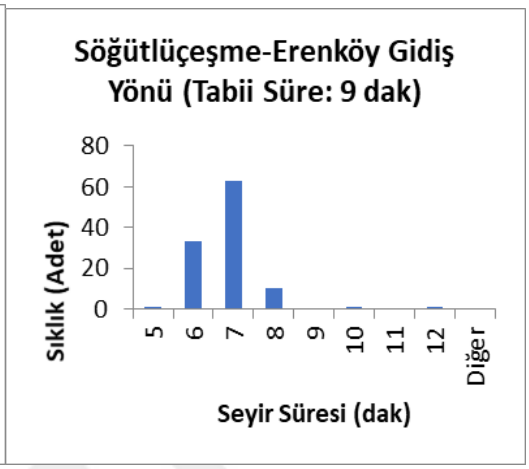
Şekil 2.27 Haydarpaşa-Gebze yönünde istasyon çiftleri arasındaki seyir süreleri (sabah zirvesi)

2.2.22 Haydarpaşa-Gebze Yönünde Tüm İstasyon Çiftleri Arasındaki Seyir Süreleri (Akşam Zirvesi)

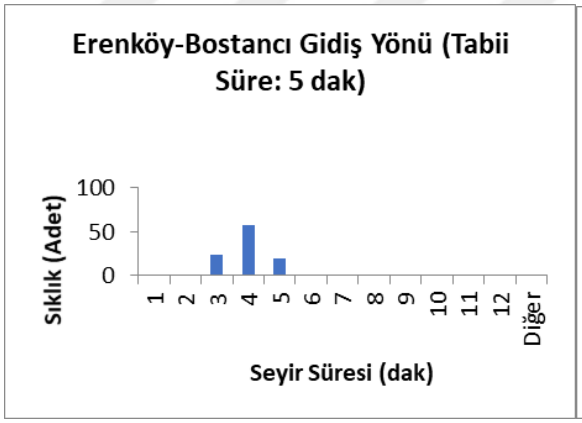
Yukarıda Bostancı-Maltepe istasyon aralığında (yönünde) akşam zirvesinde hizmet veren banliyö trenlerinin seyir süreleri incelenmişti. Bu bölümde Haydarpaşa-Gebze yönünde akşam zirvesindeki trenlerin ardışık istasyon çiftleri arasındaki seyir sürelerinin grafikleri toplu halde Şekil 2.28a-h'de gösterilmiştir.



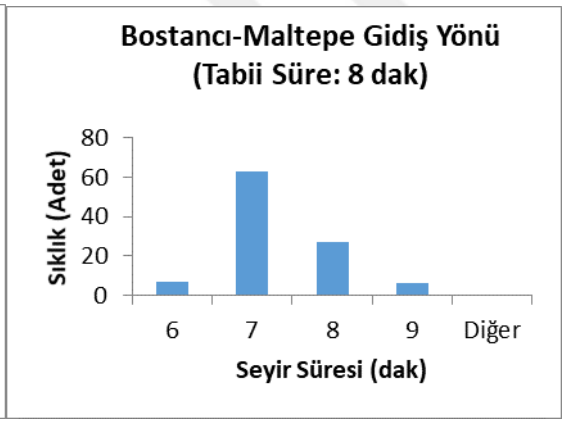
(a)



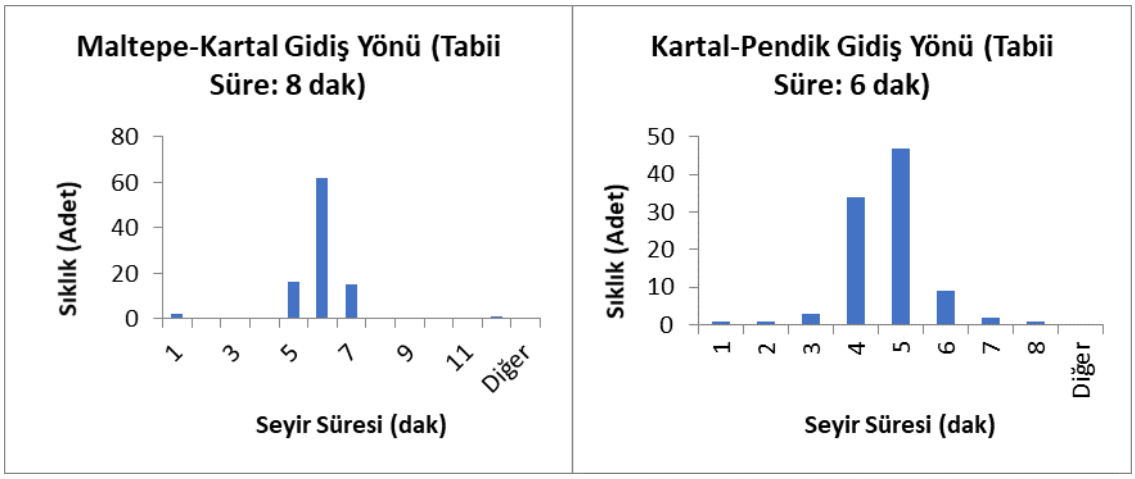
(b)



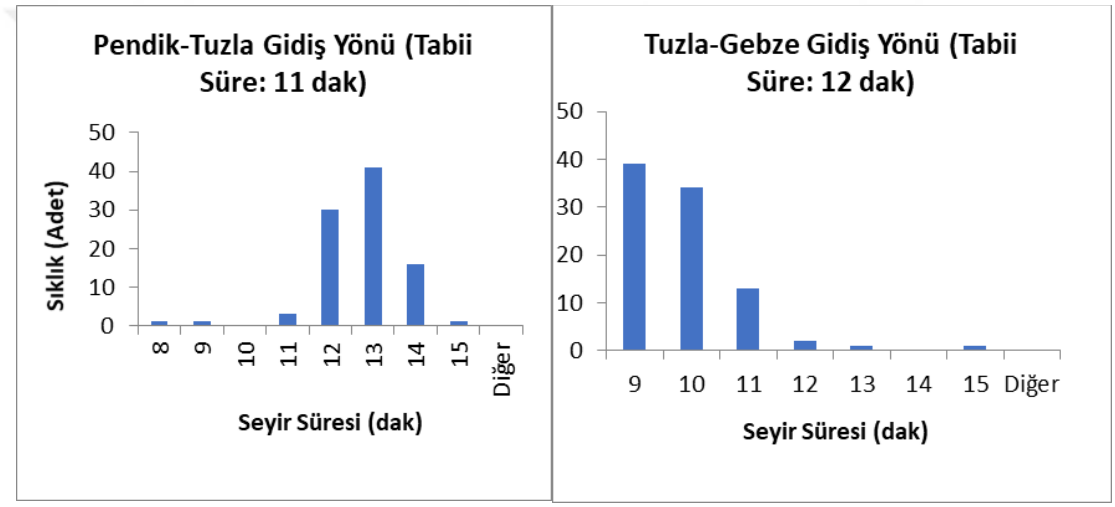
(c)



(d)



(e) (f)



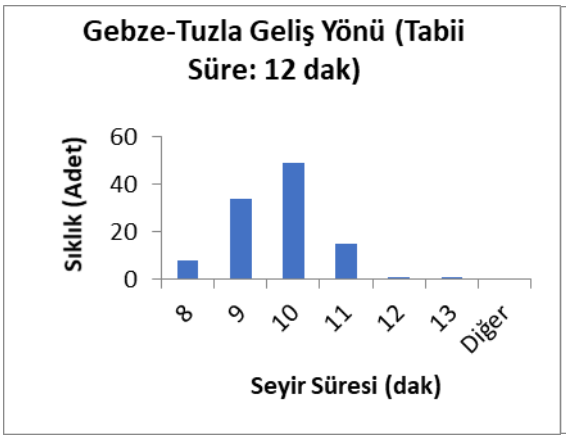
(g) (h)

Şekil 2.28 Haydarpaşa-Gebze yönünde istasyon çiftleri arasındaki seyir süreleri (akşam zirvesi)

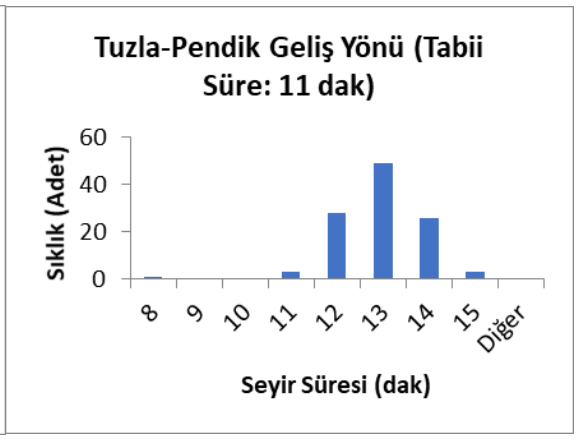
2.2.23 Gebze-Haydarpaşa Yönünde Tüm İstasyon Çiftleri Arasındaki Seyir Süreleri (Sabah Zirvesi)

Yukarıda Tuzla-Pendik istasyon aralığında (yönünde) sabah zirvesinde hizmet veren banliyö trenlerinin seyir süreleri incelenmişti. Bu bölümde Gebze-Haydarpaşa yönünde sabah zirvesindeki trenlerin ardışık istasyon çiftleri arasındaki seyir sürelerinin grafikleri toplu halde Şekil 2.29a-h'de gösterilmiştir. Verilerin elde edildiği trengraflarda Gebze-Haydarpaşa yönü için Kartal

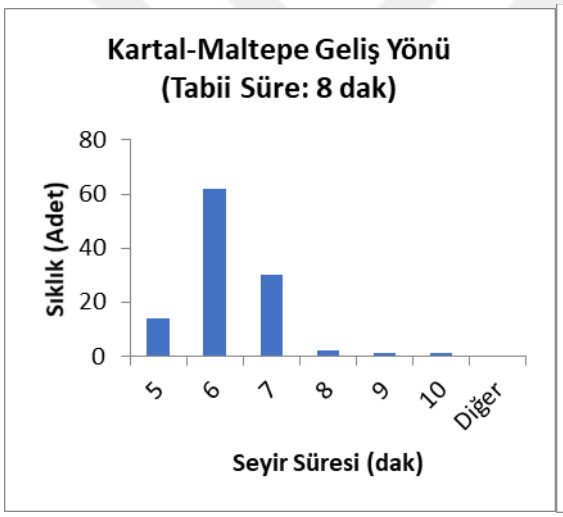
istasyonunun doğu ucunda zaman okuması yapılamadığından Pendik-Kartal (yönünde) istasyon çifti arasındaki seyir süreleri ölçülememiştir.



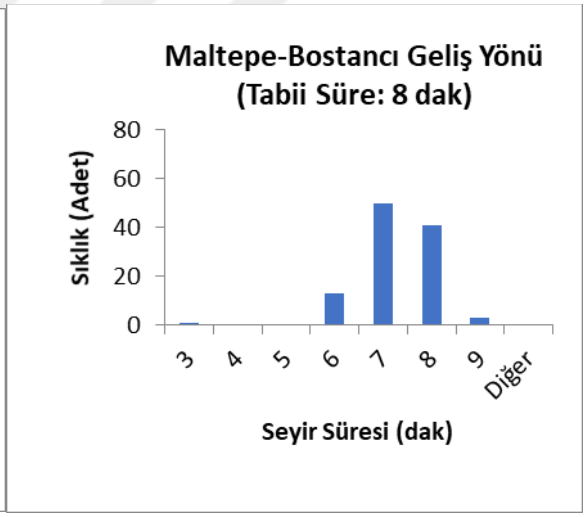
(a)



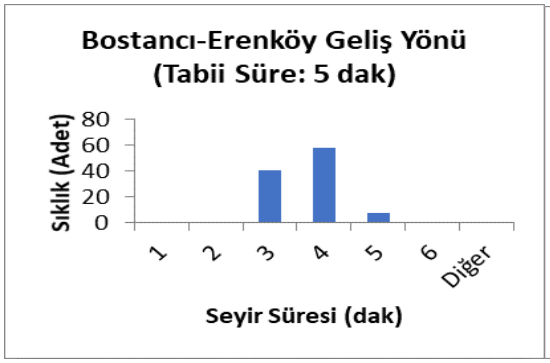
(b)



(c)



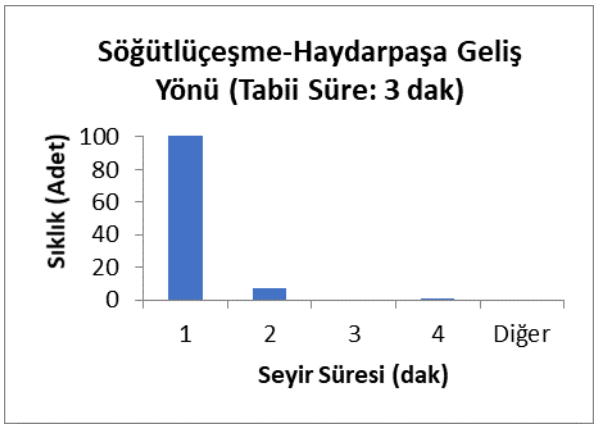
(d)



(e)



(f)

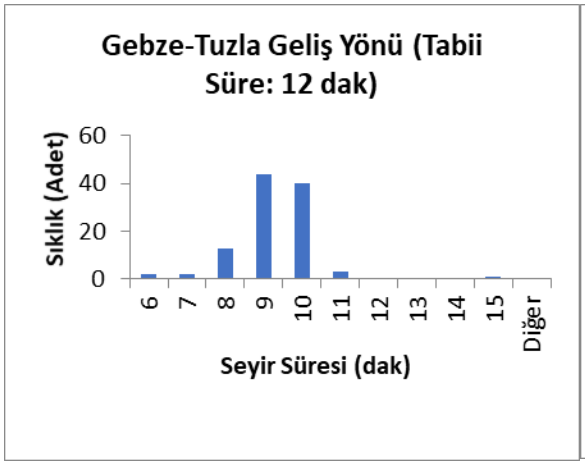


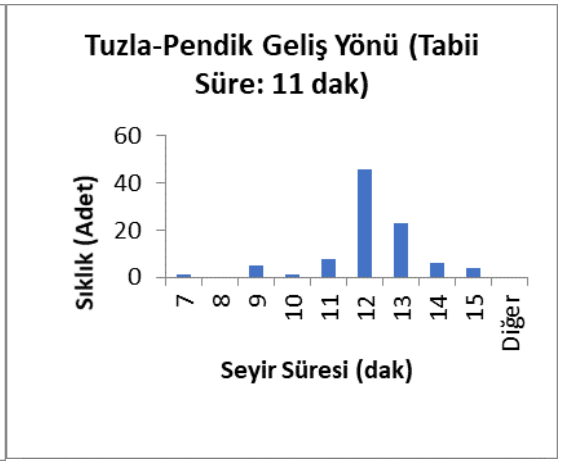
(g)

Şekil 2.29 Gebze-Haydarpaşa yönünde istasyon çiftleri arasındaki seyir süreleri (sabah zirvesi)

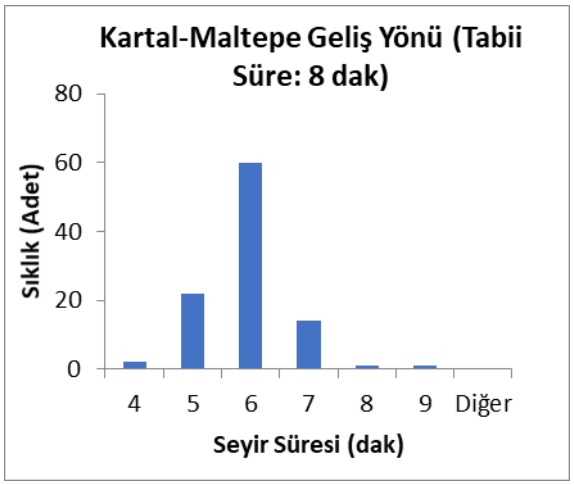
2.2.24 Gebze-Haydarpaşa Yönünde Tüm İstasyon Çiftleri Arasındaki Seyir Süreleri (Akşam Zirvesi)

Yukarıda Kartal-Maltepe istasyon aralığında (yönünde) akşam zirvesinde hizmet veren banliyö trenlerinin seyir süreleri incelenmişti. Bu bölümde Gebze-Haydarpaşa yönünde akşam zirvesindeki trenlerin ardışık istasyon çiftleri arasındaki seyir sürelerinin grafikleri toplu halde Şekil 2.30a-h'de gösterilmiştir. Verilerin elde edildiği trengraflarda Gebze-Haydarpaşa yönü için Kartal istasyonunun doğu ucunda zaman okuması yapılamadığından Pendik-Kartal (yönünde) istasyon çifti arasındaki seyir süreleri ölçülememiştir.

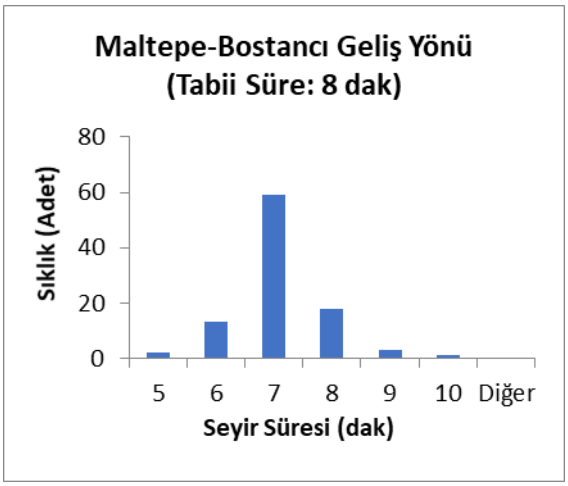




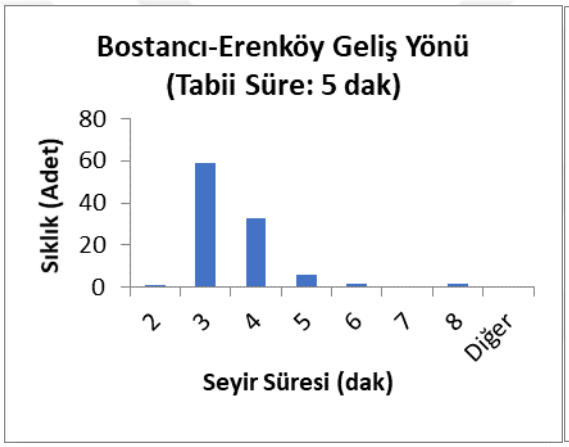
(a) (b)



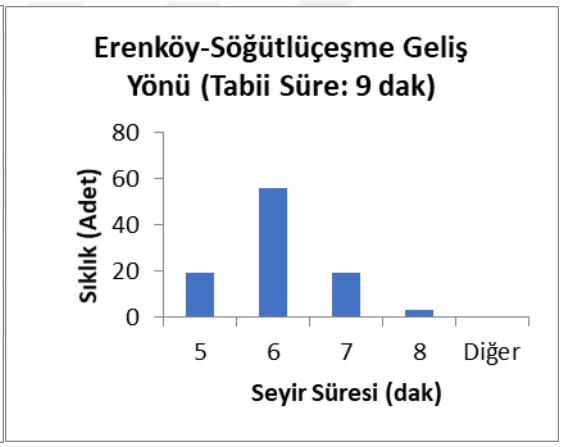
(c)



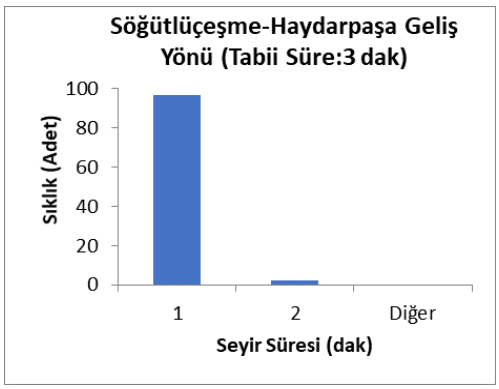
(d)



(e)



(f)

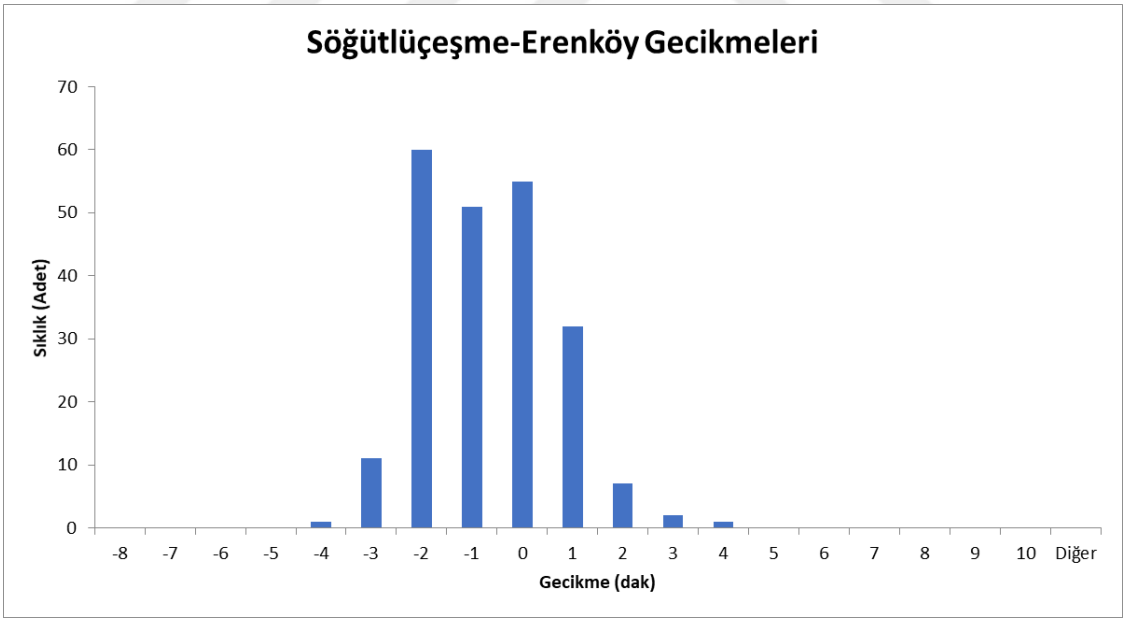


(g)

Şekil 2.30 Gebze-Haydarpaşa yönünde istasyon çiftleri arasındaki seyir süreleri (akşam zirvesi)

2.2.25 Söğütlüçeşme-Erenköy İstasyon Çifti Arasında Gecikme Analizi (Sabah ve Akşam Zirvesi)

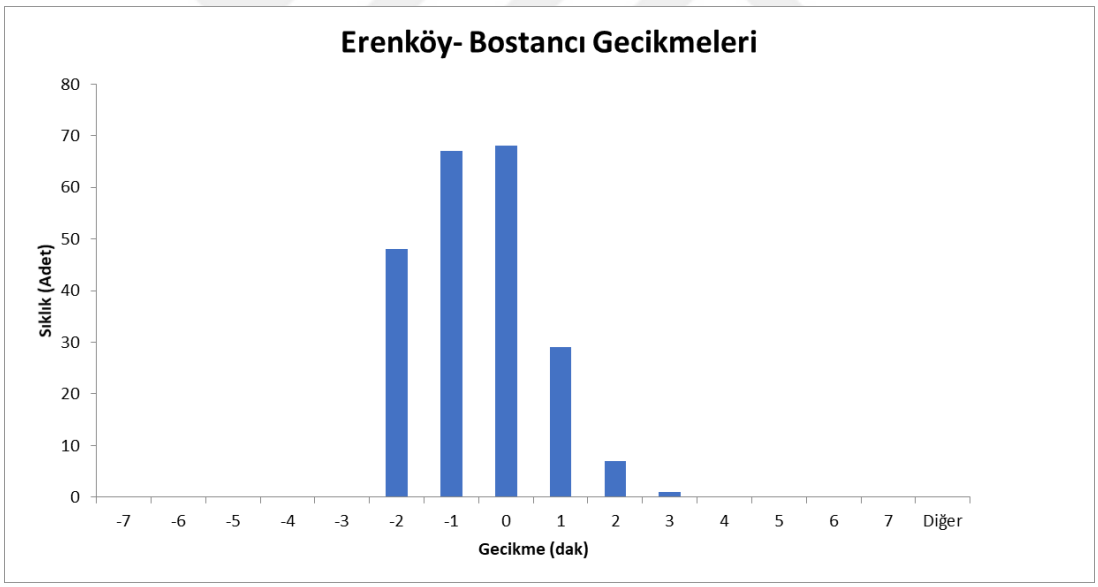
Sabah ve akşam zirve saatlerde 22 adet tren 10 gün boyunca incelenmiştir. Bu trenlerin, Söğütlüçeşme istasyonundan erken kalkışının veya gecikmeli kalkışının Erenköy istasyonunda ne kadar telafi edildiği Şekil 2.31'de gösterilmiştir. Şekilde yatay eksendeki negatif sayılar, bu istasyon çifti arasındaki seyrin planlanandan daha hızlı olduğunu; pozitif sayılar, seyrin planlanandan daha yavaş olduğunu; sıfır sayısı ise planlanan zamana uygun bir seyir olduğunu göstermektedir. Şekil 2.31'deki gecikmelerin çoğunlukla negatif değerler aldığı görülmekte, bu da tren seyirlerinin bu istasyon aralığında planlanandan daha hızlı gerçekleştiği anlamına gelmektedir. Şekilde bazı trenler seyirlerini 4 dakika mertebesine kadar gecikmeyle tamamlamıştır. Bu değerlendirmeler, incelenen istasyon çifti aralığında tren seyirlerinin orerdeki planlanmış zamanlara uygun yapılması için bazı iyileştirmelere ihtiyaç bulunduğunu göstermektedir. Örneğin, sürücüler orere uygun seyir yapmaları konusunda uyarılabilir ve orerdeki tabii seyir süreleri gerçekleşen değerlerin ışığında gözden geçirilebilir.



Şekil 2.31 Söğütlüçeşme-Erenköy istasyon çifti arasında gecikme analizi (sabah ve akşam zirvesi)

2.2.26 Erenköy-Bostancı İstasyon Çifti Arasında Gecikme Analizi (Sabah ve Akşam Zirvesi)

Sabah ve akşam zirve saatlerde 22 adet tren 10 gün boyunca incelenmiştir. Bu trenlerin, Erenköy istasyonundan erken kalkışının veya gecikmeli kalkışının Bostancı istasyonunda ne kadar telafi edildiği Şekil 2.32'de gösterilmiştir. Şekilde yatay eksendeki negatif sayılar, bu istasyon çifti arasındaki seyrin planlanandan daha hızlı olduğunu; pozitif sayılar, seyrin planlanandan daha yavaş olduğunu; sıfır sayısı ise planlanan zamana uygun bir seyir olduğunu göstermektedir. Şekil 2.32'deki gecikmelerin çoğunlukla negatif değerler aldığı görülmekte, bu da tren seyirlerinin bu istasyon aralığında planlanandan daha hızlı gerçekleştiği anlamına gelmektedir. Şekilde bazı trenler seyirlerini 2 dakikaya kadar geç ya da erken tamamlamaktadır. Bu değerlendirmeler, incelenen istasyon çifti aralığında tren seyirlerinin orerdeki planlanmış zamanlara uygun yapılması için bazı iyileştirmelere ihtiyaç bulunduğunu göstermektedir.

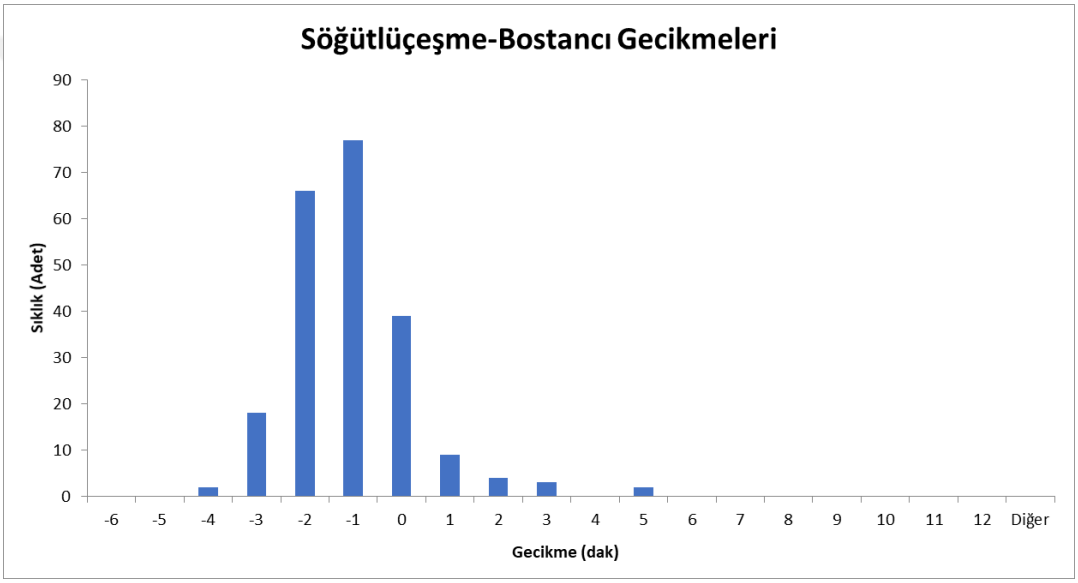


Şekil 2.32 Erenköy-Bostancı istasyon çifti arasında gecikme analizi (sabah ve akşam zirvesi)

2.2.27 Söğütlüçeşme-Bostancı İstasyon Çifti Arasında Gecikme Analizi (Sabah ve Akşam Zirvesi)

Sabah ve akşam zirve saatlerde 22 adet tren 10 gün boyunca incelenmiştir. Bu trenlerin, Söğütlüçeşme istasyonundan erken kalkışının veya gecikmeli kalkışının

Bostancı istasyonunda ne kadar telafi edildiği Şekil 2.33'te gösterilmiştir. Şekilde yatay eksendeki negatif sayılar, bu istasyon çifti arasındaki seyrin planlanandan daha hızlı olduğunu; pozitif sayılar, seyrin planlanandan daha yavaş olduğunu; sıfır sayısı ise planlanan zamana uygun bir seyir olduğunu göstermektedir. Şekil 2.33'teki gecikmelerin çoğunlukla negatif değerler aldığı görülmekte, bu da tren seyirlerinin bu istasyon aralığında planlanandan daha hızlı gerçekleştiği anlamına gelmektedir. Şekilde bazı trenler seyirlerini 5 dakika mertebesine kadar gecikmeyle tamamlamıştır. Bu değerlendirmeler, incelenen istasyon çifti aralığında tren seyirlerinin orerdeki planlanmış zamanlara uygun yapılması için bazı iyileştirmelere ihtiyaç bulunduğunu göstermektedir.

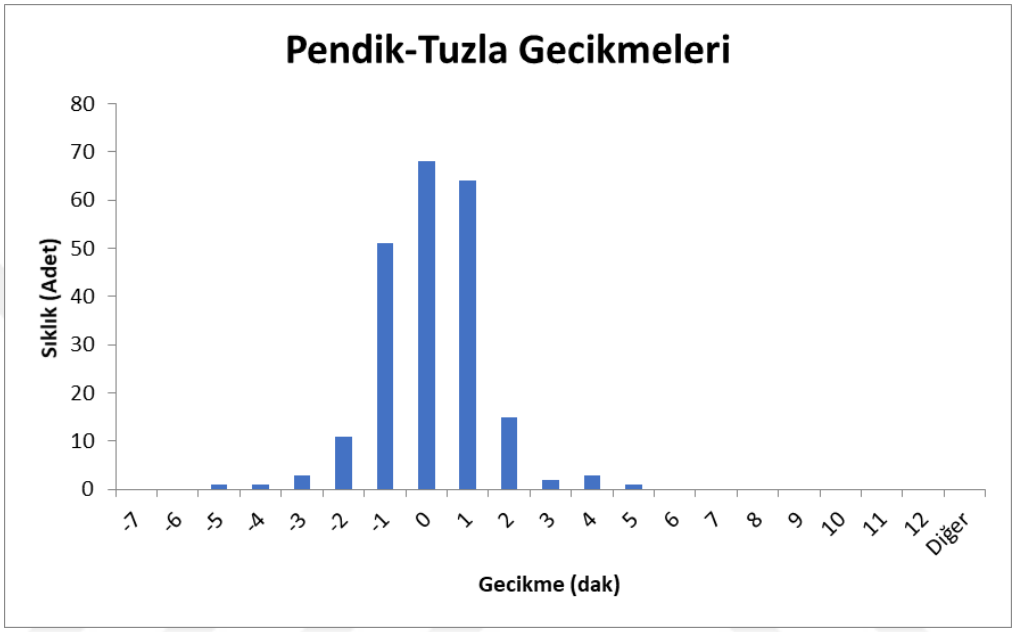


Şekil 2.33 Söğütlüçeşme-Bostancı istasyon çifti arasında gecikme analizi (sabah ve akşam zirvesi)

2.2.28 Pendik-Tuzla İstasyon Çifti Arasında Gecikme Analizi (Sabah ve Akşam Zirvesi)

Sabah ve akşam zirve saatlerde 22 adet tren 10 gün boyunca incelenmiştir. Bu trenlerin, Pendik istasyonundan erken kalkışının veya gecikmeli kalkışının Tuzla istasyonunda ne kadar telafi edildiği Şekil 2.34'te gösterilmiştir. Şekilde yatay eksendeki negatif sayılar, bu istasyon çifti arasındaki seyrin planlanandan daha hızlı olduğunu; pozitif sayılar, seyrin planlanandan daha yavaş olduğunu; sıfır sayısı ise planlanan zamana uygun bir seyir olduğunu göstermektedir. Şekilde bazı trenler

seyirlerini 5 dakikaya kadar gecikmeyle tamamlamıştır. Şekil 2.34'teki gecikmelerin çoğunlukla pozitif değerler aldığı görülmekte, bu da tren seyirlerinin bu istasyon aralığında planlanandan daha yavaş gerçekleştiği anlamına gelmektedir. Bu değerlendirmeler, incelenen istasyon çifti aralığında tren seyirlerinin 4planlanmış zamanlara uygun yapılması için bazı iyileştirmelere ihtiyaç bulunduğunu göstermektedir.

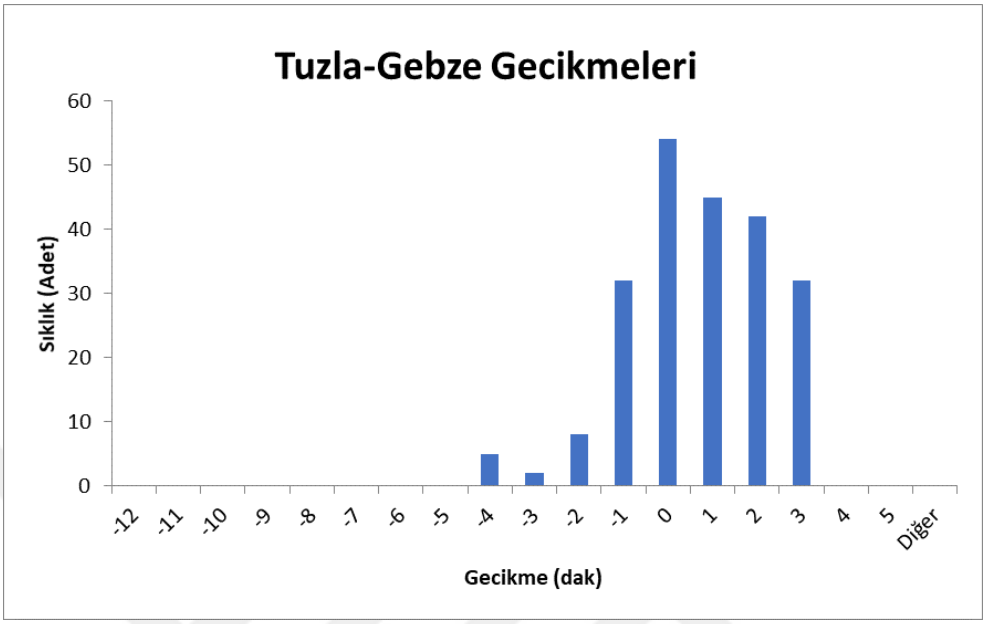


Şekil 2.34 Pendik-Tuzla istasyon çifti arasında gecikme analizi (sabah ve akşam zirvesi)

2.2.29 Tuzla-Gebze İstasyon Çifti Arasında Gecikme Analizi (Sabah ve Akşam Zirvesi)

Sabah ve akşam zirve saatlerde 22 adet tren 10 gün boyunca incelenmiştir. Bu trenlerin, Tuzla istasyonundan erken kalkışının veya gecikmeli kalkışının Gebze istasyonunda ne kadar telafi edildiği Şekil 2.35'te gösterilmiştir. Şekilde yatay eksendeki negatif sayılar, bu istasyon çifti arasındaki seyrin planlanandan daha hızlı olduğunu; pozitif sayılar, seyrin planlanandan daha yavaş olduğunu; sıfır sayısı ise planlanan zamana uygun bir seyir olduğunu göstermektedir. Şekilde bazı trenler seyirlerini 3 dakika mertebesine kadar gecikmeyle tamamlamıştır. Şekil 2.35'teki gecikmelerin çoğunlukla pozitif değerler aldığı görülmekte, bu da tren seyirlerinin bu istasyon aralığında planlanandan daha yavaş gerçekleştiği anlamına gelmektedir.

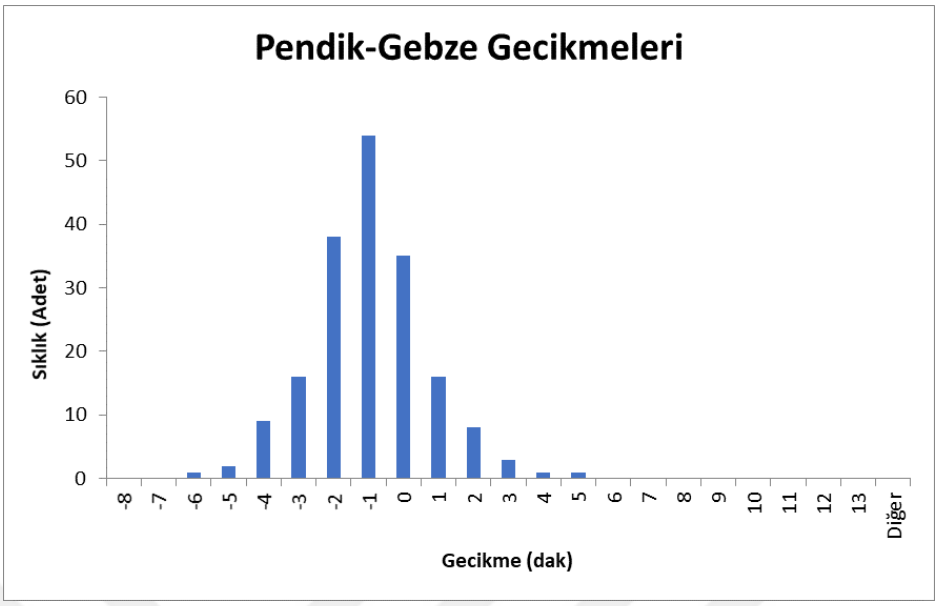
Bu değerlendirmeler, incelenen istasyon çifti aralığında tren seyirlerinin orerdeki planlanmış zamanlara uygun yapılması için bazı iyileştirmelere ihtiyaç bulunduğunu göstermektedir.



Şekil 2.35 Tuzla-Gebze istasyon çifti arasında gecikme analizi (sabah ve akşam zirvesi)

2.2.30 Pendik-Gebze İstasyon Çifti Arasında Gecikme Analizi (Sabah ve Akşam Zirvesi)

Sabah ve akşam zirve saatlerde 18 adet tren 10 gün boyunca incelenmiştir. Bu trenlerin, Pendik istasyonundan erken kalkışının veya gecikmeli kalkışının Gebze istasyonunda ne kadar telafi edildiği Şekil 2.36'da gösterilmiştir. Şekilde yatay eksendeki negatif sayılar, bu istasyon çifti arasındaki seyrin planlanandan daha hızlı olduğunu; pozitif sayılar, seyrin planlanandan daha yavaş olduğunu; sıfır sayısı ise planlanan zamana uygun bir seyir olduğunu göstermektedir. Şekil 2.36'daki gecikmelerin çoğunlukla negatif değerler aldığı görülmekte, bu da tren seyirlerinin bu istasyon aralığında planlanandan daha hızlı gerçekleştiği anlamına gelmektedir. Şekilde bazı trenler seyirlerini 5 dakika mertebesine kadar gecikmeyle tamamlamıştır. Bu değerlendirmeler, incelenen istasyon çifti aralığında tren seyirlerinin orerdeki planlanmış zamanlara uygun yapılması için bazı iyileştirmelere ihtiyaç bulunduğunu göstermektedir.



Şekil 2.36 Pendik-Gebze istasyon çifti arasında gecikme analizi (sabah ve akşam zirvesi)

3
GECİKME VE SEYİR SÜRESİ DAĞILIMLARI İÇİN UYUM TESTLERİ

3.1 Haydarpaşa Kalkış Gecikmeleri İçin Ki-Kare Uyum Testi (Sabah Zirvesi)

Ki-kare (χ^2) uygunluk sınamasında, söz konusu olasılık fonksiyonunun matematiksel ifadesi elde edilmez; ancak, eldeki verilerin seçilen herhangi bir dağılıma ne ölçüde uyduğu test edilir. Bunun için iki hipotez (varsayım) önerilir ve bunlar birbiriyle yarıştırılır. Örneğin,

H_o: Söz konusu dağılım normaldir

H_A: Söz konusu dağılım normal değildir

hipotezleri önerilmiş olsun. Bunlardan H_o ile gösterilen ve "sıfır hipotezi" adı verilen varsayımın reddedilmemesi umulur. Sıfır hipotezinin reddedilmesi durumunda, H_A ile gösterilen "alternatif hipotez" geçerli olur. Normal dağılıma uyum için ki-kare testinin adımları şöyledir.

1-) Gözlenen ya da gerçek veriler "varsayılan" dağılımı en iyi yansıtacak şekilde kendi içinde sınıflara ayrılır. Pratik olarak, en az 5 sınıf (i) ve her sınıfın içinde en az 5 örnek veri (n_i) bulunması önerilir. Sınıfların genişliği eşit olmak zorunda değildir; ancak, genellikle eşit genişliğe sahip sınıflar oluşturulur.

Her bir sınıftaki verilerin sıklığı bir histogram ile gösterilirse, verilerin varsayılan olasılık fonksiyonuna benzerliği (örneğin normal dağılım) görsel olarak değerlendirilebilir.

2-) İzleyen adımda, belirlenen aralıklara göre kümülatif ve sınıf olasılıkları çizelgenin ilgili sütununa (hesaplanarak) yazılır. Toplam gözlem sayısı n olmak üzere, her bir sınıftaki "beklenen örnek sayısı" belirlenir. Burada, beklenen ya da teorik örnek sayıları (e_i), hipotez testinde varsayılan olasılık fonksiyonundan yararlanılarak belirlenir. Bu işlemler şöyle yapılır: Varsayılan olasılık fonksiyonu,

ortalama değeri μ ve standart sapması σ olan, normal dağılım olduğundan, öncelikle, her bir sınıf için standart normal değişken değeri (z_i), eşitlik (3.1)'e göre hesaplanır. Burada, her veri sınıfını temsil eden gözlem değerleri (x_i) için hesap yapılır. Daha sonra, standart normal dağılım tablosundan, hesaplanan z_i değerine karşılık gelen kümülatif (birikimli) olasılık okunur.

$$z_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \tag{3.1}$$

z_i'ler için tablodan okunan olasılık, aranan kümülatif olasılıktır.

Hesaplanan "gerçek" (n_i) ve "beklenen" (e_i) örnek sayıları kullanılarak, her bir sınıfın ki-kare değeri (3.2) eşitliği yardımıyla hesaplanır:

$$\chi_i^2 = \frac{(n_i - e_i)^2}{e_i} \tag{3.2}$$

Sınıf sayısı *N* ise, toplam ki-kare her sınıfın ki-kare değerlerinin toplamıdır: Ki-kare değerlerinin toplamı (3.3) eşitliği yardımıyla hesaplanır.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{N} \frac{(n_i - e_i)^2}{e_i} \tag{3.3}$$

Hesaplanan ki-kare değerleri ki-kare dağılımına sahiptir. Öne sürülen hipotezin geçerli (doğru) olabilmesi için hesaplanan ki-kare değerlerinin küçük olması istenir. Hipotez testi için, hesaplanan ki-kare değerinin, ki-kare dağılım tablosundan okunacak kritik ki-kare değeriyle ($\chi^2_{\alpha;f}$) karşılaştırılması gerekir. Bu okuma için, bir *anlamlılık düzeyi* (α) seçilmeli ve veri sınıflarının *serbestlik derecesi* (f) belirlenmelidir. Örneğin; α=0,05 (%5) anlamlılık düzeyi seçelim. Bunun anlamı ki-kare tablosundan, %95 olasılıkla aşılmayacak (ya da %5 olasılıkla aşılması beklenen) ki-kare değeri, $\chi^2_{0,05;f}$ okunacaktır. Yani, bu ki-kare değerine kadar olan değerlerin gerçekleşme şansı %95 olmaktadır. Serbestlik derecesi (f), varsayılan dağılıma özel olarak belirlenir ve sınıf sayısından (N) dağılımın tahmin edilen parametre sayısı (g) eksiltilerek (3.4) eşitliği ile elde edilir (Ang ve Tang, 2007).

$$f = N - g - 1 \quad (3.4)$$

Örneğin Haydarpaşa sabah zirvesi kalkış gecikmeleri için, normal dağılım üzerinde ki-kare testi yapalım. Normal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu eşitlik (3.5) ile şöyledir (Law ve Kelton, 2000).

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-(x-\mu)^2/(2\sigma^2)} \quad (3.5)$$

Burada,

μ : Ortalama veya yer parametresi (μ ∈ (-∞,∞))

σ : Standart sapma veya şekil parametresi (σ>0)

Gecikmelerin ortalama değeri μ = 3,35 dakika, standart sapması σ = 1,68 dakika ve veri sayısı n = 110, sınıf sayısı N = 7 adettir. Buna göre serbestlik derecesi f =7-2-1=4 olarak hesaplanır.

Ki-kare uygunluk testinin normal dağılım için uygulanması Tablo 3.1'de gösterilmiştir. Tablo 3.1'in birinci satırı için işlemler şu şekildedir.

Kümülatif olasılık değerlerini Excel'de fonksiyon kütüphanesinden hesaplamak mümkündür. Normal dağılım için NORM.DAĞ(B8;B2;B3;DOĞRU) fonksiyonu kullanılarak kümülatif olasılık (0,08) bulunur. Burada,

B8 = Sınıf sütununda ilk satırı temsil eden 1 dakikalık gecikmenin bulunduğu hücre

B2 = Ortalama Değer'in (μ) (3,35 dak) bulunduğu hücre

B3= Standart Sapma'nın (σ)1,68 dak) bulunduğu hücre

Ardışık beklenen kümülatif olasılıkların farkı alınarak beklenen sınıf olasılıkları hesaplanır. Bu olasılıklar toplam gözlem sayısı ile çarpılarak beklenen gözlem sayısı tahmin edilir. Beklenen sınıf olasılığı x n => 0,08 x 110 = 8,80

Buna göre, birinci satırın ki-kare değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\frac{(n_i - e_i)^2}{e_i} => \frac{(7 - 8{,}80)^2}{8{,}80} = 0{,}37$$

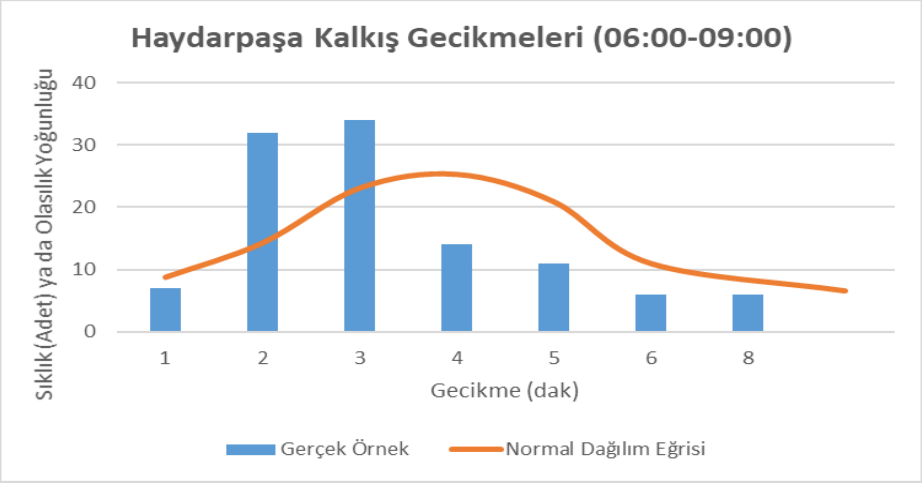
Toplam ki-kare değeri 39,48'dir.

Kritik ki-kare değeri ise ki-kare tablosundan α = 0,05 anlamlılık düzeyi ve f = 7 – 2 – 1 = 4 serbestlik derecesi için 9,49 olarak okunmuştur. Toplam ki-kare değeri (39,48), kritik değerden (9,49) büyük olduğu için sıfır hipotezi (H_o) reddedilir, yani Haydarpaşa'dan sabah zirvesinde kalkış gecikmeleri normal dağılıma uygun değildir. Sınıf ya da gecikme sütununda 7 dakikalık gecikme 4 sefer, 8 dakikalık gecikme 2 sefer gerçekleşmiştir. Bu iki sınıfta gerçekleşen örnek sayısı 5'ten küçük olduğu için bu sınıflar birleştirilmiştir.

Tablo 3.1 Normal dağılım için ki-kare uygunluk testi (sabah zirvesi)

Sınıf ya da Gecikme (i)	Gerçek Örnek (ni)	Beklenen Kümülatif Olasılık	Beklenen Sınıf Olasılığı	Beklenen Örnek Sayısı (ei)	Sınıfın Ki-Kare Değeri (χ^2)
1	7	0,08	0,08	8,80	0,37
2	32	0,21	0,13	14,30	21,91
3	34	0,42	0,21	23,10	5,14
4	14	0,65	0,23	25,30	5,05
5	11	0,84	0,19	20,90	4,69
6	6	0,94	0,10	11,00	2,27
8	6	1,00	0,06	6,60	0,05
Toplam	110			110	39,48

Gözlem verilerinin histogram grafiği ile normal dağılım fonksiyonunun grafiği Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için normal dağılım (sabah zirvesi)

Bir de Haydarpaşa sabah zirvesi kalkış gecikmeleri için, gama dağılımı üzerinde ki-kare testi yapalım.

Gama dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu eşitlik (3.6) ile şöyledir:

$$f(x) = \frac{\beta^{-\alpha_1} x^{\alpha_1 - 1} e^{-x/\beta}}{\Gamma(\alpha_1)} \qquad (3.6)$$

Burada,

α_1 : Şekil parametresi ($\alpha_1 > 0$)

β : Ölçek parametresi (β > 0)

$\Gamma(\alpha_1)$: Gama fonksiyonu

Gecikmelerin ortalama değeri μ = 3,35 dakika, standart sapması σ = 1,68 dakika ve veri sayısı n = 110 adettir. Gama dağılımının parametre sayısı g = 2 olduğundan, serbestlik derecesi 7-2-1=4 olarak hesaplanır. Gama dağılımının şekline ve ölçeğine bağlı olarak α_1 ve β parametreleri seçilmelidir. α_1 =3, β=1 olarak seçilmiştir.

Ki-kare uygunluk testinin gama dağılımı için uygulanması Tablo 3.2'de gösterilmiştir. Tablo 3.2'nin birinci satırı için işlemler şu şekildedir.

Kümülatif olasılık değerlerini Excel'de fonksiyon kütüphanesinden hesaplamak mümkündür. Gama dağılımı için GAMA.DAĞ(B8;3;1;DOĞRU) fonksiyonu kullanılarak kümülatif olasılık (0,08) bulunur. Burada,

B8 = Sınıf sütununda ilk satırı temsil eden 1 dakikalık gecikmenin bulunduğu hücre

3 = α_1 şekil parametresi

1 = β ölçek parametresi

Ardışık beklenen kümülatif olasılıkların farkı alınarak beklenen sınıf olasılıkları hesaplanır. Bu olasılıklar toplam gözlem sayısı ile çarpılarak beklenen gözlem sayısı tahmin edilir.

Beklenen sınıf olasılığı x n => 0,08 x 110 = 8,80

Buna göre, birinci satırın ki-kare değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\frac{(n_i - e_i)^2}{e_i} \Rightarrow \frac{(7-8{,}80)^2}{8{,}80} = 0{,}37$$

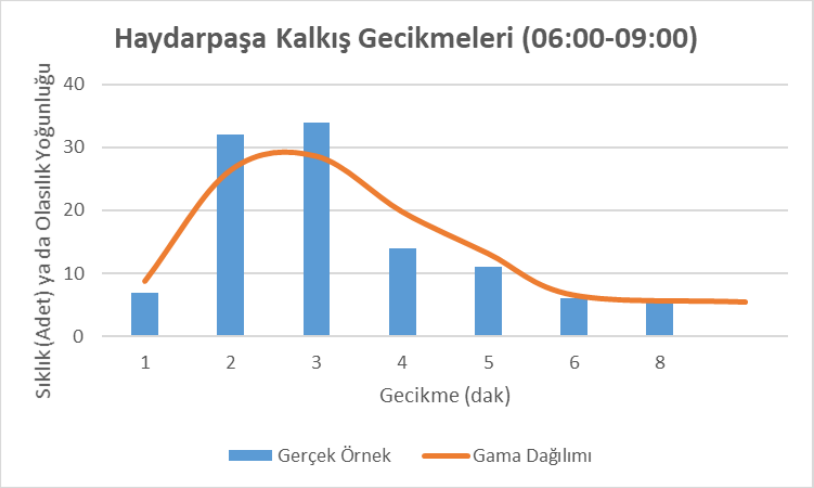
Toplam ki-kare değeri 4,74'tür.

Kritik ki-kare değeri ise ki-kare tablosundan α = 0,05 anlamlılık düzeyi ve f =7–2–1 =4 serbestlik derecesi için 9,49 olarak okunmuştur. Toplam ki-kare değeri (4,74), kritik değerden (9,49) küçük olduğu için sıfır hipotezi (H_o) kabul edilir, yani Haydarpaşa'dan sabah zirvesinde kalkış gecikmeleri gama dağılımına uygundur.

Tablo 3.2 Gama dağılımı için ki-kare uygunluk testi (sabah zirvesi)

Sınıf ya da Gecikme (i)	Gerçek Örnek (ni)	Beklenen Kümülatif Olasılık	Beklenen Sınıf Olasılığı	Beklenen Örnek Sayısı (ei)	Sınıfın Ki-Kare Değeri (χ^2)
1	7	0,08	0,08	8,80	0,37
2	32	0,32	0,24	26,40	1,19
3	34	0,58	0,26	28,60	1,02
4	14	0,76	0,18	19,80	1,70
5	11	0,88	0,12	13,20	0,37
6	6	0,94	0,06	6,60	0,05
8	6	0,99	0,05	5,50	0,05
Toplam	110			110	4,74

Gözlem verilerinin histogram grafiği ile gama dağılım fonksiyonunun grafiği Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için gama dağılımı (sabah zirvesi)

Benzer şekilde, Beta dağılımı üzerinde ki-kare testi Tablo 3.3'te ve Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Beta dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu eşitlik (3.7) ile şöyledir:

$$f(x) = \frac{x^{\alpha_1 - 1}(1-x)^{\alpha_2 - 1}}{\beta(\alpha_1, \alpha_2)} \qquad (3.7)$$

Burada,

$\beta(\alpha_1,\alpha_2)$ Beta fonksiyonu

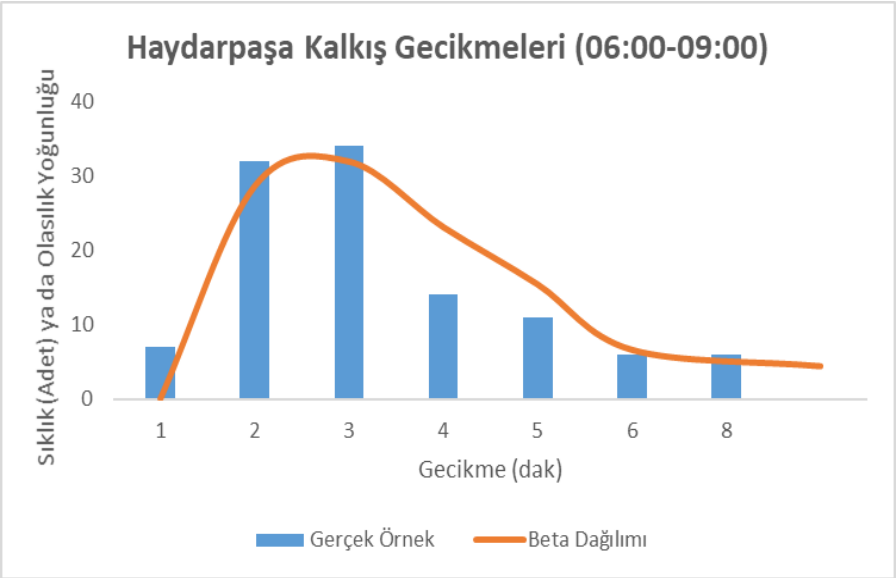
α_1 : Şekil parametresi ($\alpha_1 > 0$)

α_2 : Şekil parametresi ($\alpha_2 > 0$)

Toplam ki-kare değeri (6,02) kritik ki-kare değerinden (9,49) küçük olduğu için sıfır hipotezi (H_o) kabul edilir, yani Haydarpaşa'dan sabah zirvesinde kalkış gecikmeleri beta dağılımına da uygundur.

Tablo 3.3 Beta dağılımı için ki-kare uygunluk testi (sabah zirvesi)

Sınıf ya da Gecikme (i)	Gerçek Örnek (ni)	Beklenen Kümülatif Olasılık	Beklenen Sınıf Olasılığı	Beklenen Örnek Sayısı (ei)	Sınıfın Ki-Kare Değeri (χ^2)
1	7	0,00	0,00	0,00	0,00
2	32	0,26	0,26	28,60	0,40
3	34	0,55	0,29	31,90	0,14
4	14	0,76	0,21	23,10	3,58
5	11	0,90	0,14	15,40	1,26
6	6	0,96	0,06	6,60	0,05
8	6	1,00	0,04	4,40	0,58
Toplam	110			110	6,02



Şekil 3.3 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için beta dağılımı (sabah zirvesi)

Benzer şekilde, Weibull dağılımı üzerinde ki-kare testi Tablo 3.4'te ve Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu eşitlik (3.8) ile şöyledir:

$$f(x) = \alpha_1 \beta^{-\alpha_1} x^{\alpha_1 - 1} e^{-(x/\beta)^{\alpha_1}} \qquad (3.8)$$

Burada,

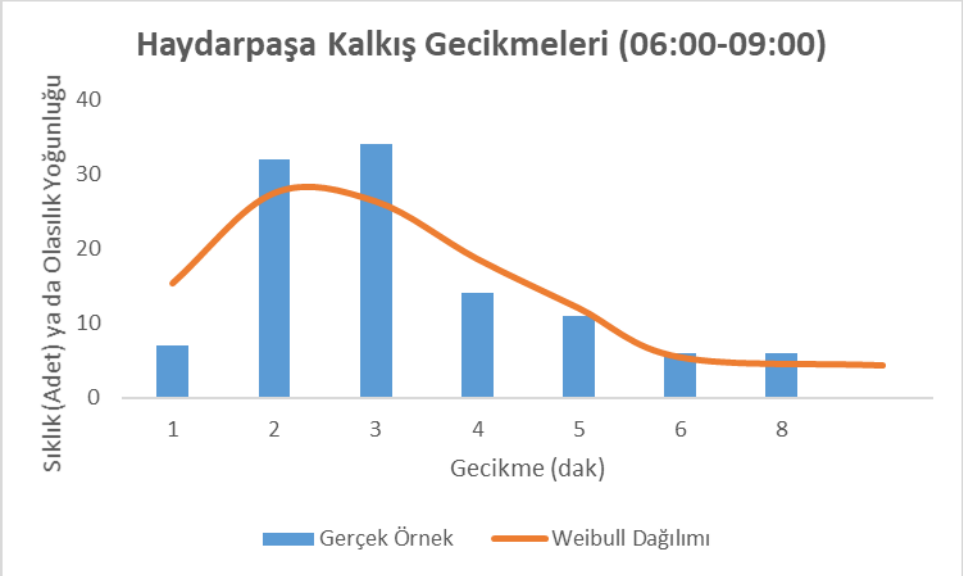
α_1 : Şekil parametresi ($\alpha_1 > 0$)

β : Ölçek parametresi (β > 0)

Toplam ki-kare değeri (9,41) kritik ki-kare değerinden (9,49) küçük olduğu için sıfır hipotezi (H_o) kabul edilir, yani Haydarpaşa'dan sabah zirvesinde kalkış gecikmeleri weibull dağılımına da uygundur.

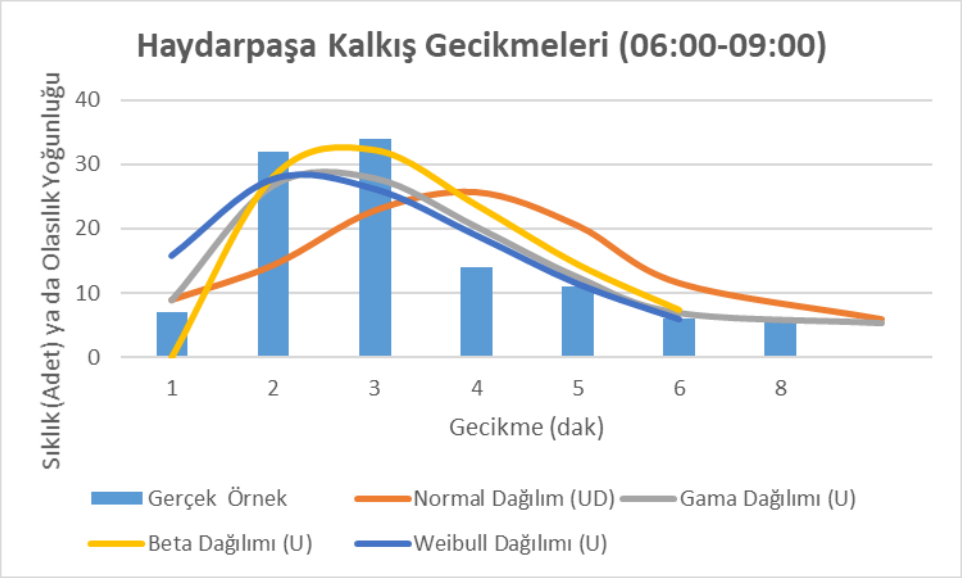
Tablo 3.4 Weibull dağılımına uygunluk testi (sabah zirvesi)

Sınıf ya da Gecikme (i)	Gerçek Örnek (ni)	Beklenen Kümülatif Olasılık	Beklenen Sınıf Olasılığı	Beklenen Örnek Sayısı (ei)	Sınıfın Ki-Kare Değeri (χ^2)
1	7	0,14	0,14	15,40	4,58
2	32	0,39	0,25	27,50	0,74
3	34	0,63	0,24	26,40	2,19
4	14	0,80	0,17	18,70	1,18
5	11	0,91	0,11	12,10	0,10
6	6	0,96	0,05	5,50	0,05
8	6	1,00	0,04	4,40	0,58
Toplam	110			110	9,41



Şekil 3.4 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için weibull dağılımı (sabah zirvesi)

Ki-kare uyum testi uygulanan olasılık dağılımları toplu olarak Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için normal-gama-beta-weibull dağılımı (sabah zirvesi) (U: Uygun, UD: Uygun Değil)

3.2 Haydarpaşa Kalkış Gecikmeleri İçin Kolmogorov-Smirnov Uyum Testi (Sabah Zirvesi)

Ki-kare uyum testlerine alternatif olarak Kolmogorov-Smirnov uyum testi bulunmuştur. Kolmogorov-Smirnov uyum testi sürekli rastgele değişkenlerin olasılık dağılımı için daha uygundur. Kolmogorov 1933 yılında tek örnek için uyum iyiliği testini önermiştir. Smirnov ise iki bağımsız örnek için uyum iyiliği testini geliştirmiştir.

Ki-kare testinin uygulanması için beklenen frekansların 5'ten büyük olması istenir. Kolmogorov-Smirnov testinde böyle bir şart aranmadığından kolayca uygulanabilir ve beklenen frekanslar için bir alt limit aramaz. Kolmogorov-Smirnov uyum testi aşağıdaki gibi uygulanır.

1-) Hipotezler

H_0: $O_i = e_i$ (Beklenen sıklıklar e_i ve gözlenen sıklıklar O_i arasındaki istatistiksel fark önemli değildir).

H_A: $O_i \neq e_i$ (Beklenen sıklıklar e_i ve gözlenen sıklıklar O_i arasındaki istatistiksel fark önemlidir).

2-) Test İstatistiği

Test istatistiği D ile gösterilir. D; gözlenen ve beklenen değerlerin kümülatif nisbi frekansları arasındaki mutlak farkın en büyüğüdür.

$D = \max |P_{ö} - P_{d}|$

$P_{ö}$ = Gözlenen kümülatif nisbi frekans

P_{d} = Beklenen kümülatif nisbi frekans

3-) Karar Modeli ve Karar

Kritik Değer = $D_{\alpha:n}$

$D \leq D_{\alpha:n}$ ise gözlenen frekansların beklenen frekanslara uygun olduğuna α anlamlılık düzeyinde karar verilir ve H_0 hipotezi kabul edilir.

Örneğin Haydarpaşa sabah zirvesi kalkış gecikmeleri için normal dağılım üzerinde Kolmogorov-Smirnov testi yapalım.

Gecikmelerin ortalama değeri μ = 3,31 dakika, standart sapması σ = 1,59 dakika ve veri sayısı n = 110 adettir.

Kolmogorov-Smirnov uygunluk testinin normal dağılım için uygulanması Tablo 3.5'te gösterilmiştir. Tablo 3.5'in birinci satırı için işlemler şu şekildedir.

Sınıf numarası ya da kalkış gecikmesi, i = 1 dakikadır.

Bu sınıftaki gözlenen ya da gerçek örnek sayısı n_i = 7'dir.

Kümülatif örnek sayısı = 7

$P_{ö} = n_i / n$ => 7 / 110 = 0,06

Kümülatif olasılık (P_d) değerlerini Excel'de fonksiyon kütüphanesinden hesaplamak mümkündür. Normal dağılım için NORM.DAĞ(B8;B2;B3;DOĞRU) fonksiyonu kullanılarak kümülatif olasılık P_d = 0,07 bulunur. Burada,

B8 = Sınıf sütununda ilk satırı temsil eden 1 dakikalık gecikmenin bulunduğu hücre

B2= Ortalama Değer'in (μ) (3,31 dak) bulunduğu hücre

B3= Standart Sapma'nın (σ) (1,59 dak) bulunduğu hücre

$|P_{ö}-P_{d}|$ => |0,06-0,07| = 0,01

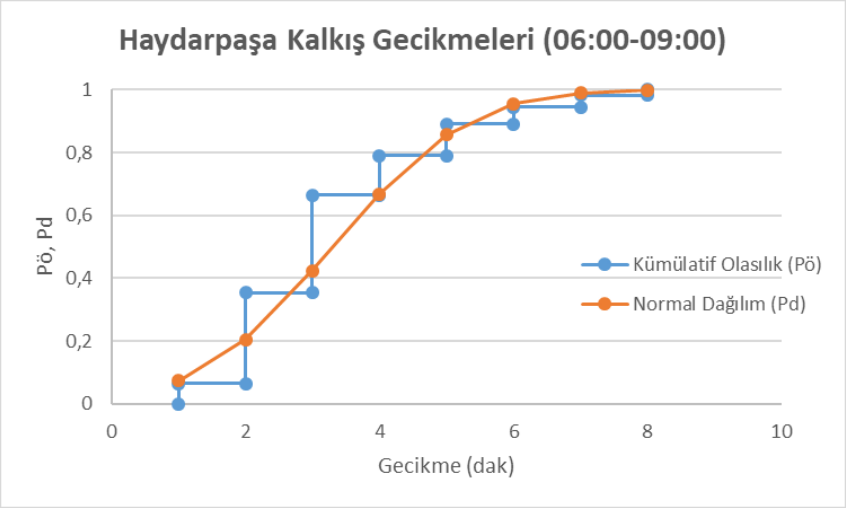
En büyük mutlak değer farkı 0,24'tür.

Kritik değer ise tablodan α = 0,05 anlamlılık düzeyi için 0,13 olarak okunmuştur. En büyük mutlak fark (0,24), kritik değerden (0,13) büyük olduğu için, Haydarpaşa'dan sabah zirvesinde kalkış gecikmeleri normal dağılıma uygun değildir.

Tablo 3.5 Normal dağılım için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi (sabah zirvesi)

Sınıf ya da Gecikme (i)	Gerçek Örnek (ni)	Kümülatif Örnek	Kümülatif Olasılık (örnek) (Pö)	Kümülatif Olasılık (dağılım) (Pd)	|Pö-Pd|
1	7	7	0,06	0,07	0,01
2	32	39	0,35	0,21	0,14
3	34	73	0,66	0,42	0,24
4	14	87	0,79	0,67	0,12
5	11	98	0,89	0,86	0,03
6	6	104	0,95	0,95	0,00
7	4	108	0,98	0,99	0,01
8	2	110	1	1,00	0,00

Gözlem verilerinin kümülatif olasılık grafiği ile normal dağılımın kümülatif olasılık grafiği Şekil 3.6'da gösterilmiştir. En büyük fark (0,24), 3 dakika gecikme değerinde görülmektedir.



Şekil 3.6 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için normal dağılım (sabah zirvesi)

Bir de Haydarpaşa sabah zirvesi kalkış gecikmeleri için, gama dağılımı üzerinde Kolmogorov-Smirnov testi yapalım.

Gecikmelerin ortalama değeri μ = 3,31 dakika, standart sapması σ = 1,59 dakika ve veri sayısı n = 110 adettir. Dağılımın şekline ve ölçeğine bağlı olarak, α_1 ve β parametreleri seçilmelidir. α_1=3, β=1 olarak seçilmiştir.

Kolmogorov-Smirnov uygunluk testinin gama dağılımı için uygulanması Tablo 3.6'da gösterilmiştir. Tablo 3.6'nın birinci satırı için işlemler şu şekildedir.

Sınıf numarası ya da kalkış gecikmesi, i=1 dakikadır.

Bu sınıftaki gözlenen ya da gerçek örnek sayısı n_i = 7'dir.

Kümülatif örnek sayısı = 7

$P_{ö} = n_i / n$ => 7 / 110 = 0,06

Kümülatif olasılık (P_d) değerlerini Excel'de fonksiyon kütüphanesinden hesaplamak mümkündür. Gama dağılımı için GAMA.DAĞ(B8;3;1;DOĞRU) fonksiyonu kullanılarak kümülatif olasılık P_d = 0,08 bulunur. Burada,

B8 = Sınıf sütununda ilk satırı temsil eden 1 dakikalık gecikmenin bulunduğu hücre

3 = α_1 şekil parametresi

1 = β ölçek parametresi

$|P_{ö}-P_d|$ => |0,06-0,08| = 0,02

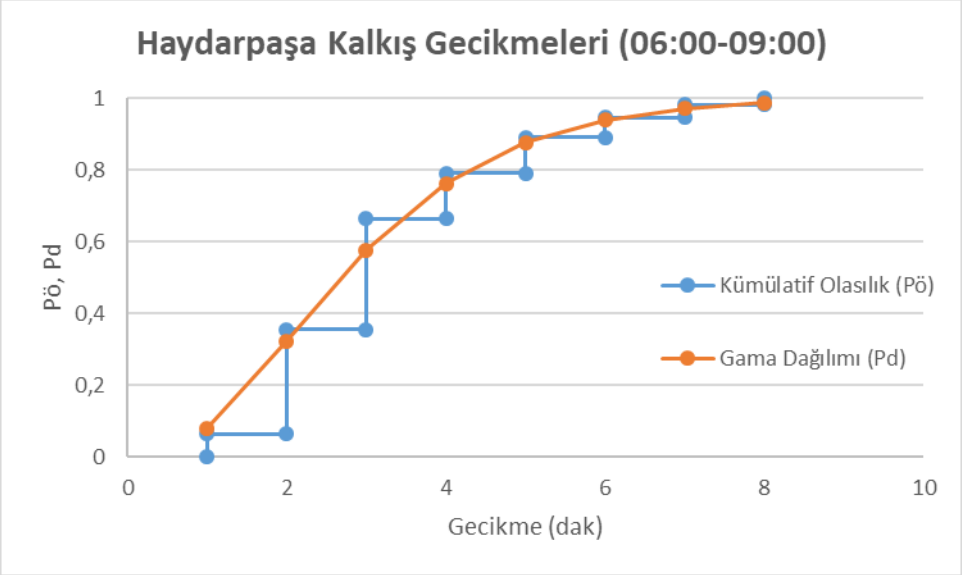
En büyük mutlak değer farkı 0,08'dir.

Kritik değer ise tablodan α = 0,05 anlamlılık düzeyi için 0,13 olarak okunmuştur. En büyük mutlak fark (0,08), kritik değerden (0,13) küçük olduğu için, Haydarpaşa'dan sabah zirvesinde kalkış gecikmeleri gama dağılımına uygundur.

Tablo 3.6 Gama dağılımı için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi (sabah zirvesi)

Sınıf ya da Gecikme (i)	Gerçek Örnek (ni)	Kümülatif Örnek	Kümülatif Olasılık (örnek) (Pö)	Kümülatif Olasılık (dağılım) (Pd)	IPö-PdI
1	7	7	0,06	0,08	0,02
2	32	39	0,35	0,32	0,03
3	34	73	0,66	0,58	0,08
4	14	87	0,79	0,76	0,03
5	11	98	0,89	0,88	0,01
6	6	104	0,95	0,94	0,01
7	4	108	0,98	0,97	0,01
8	2	110	1	0,99	0,01

Gözlem verilerinin kümülatif olasılık grafiği ile gama dağılımının kümülatif olasılık grafiği Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

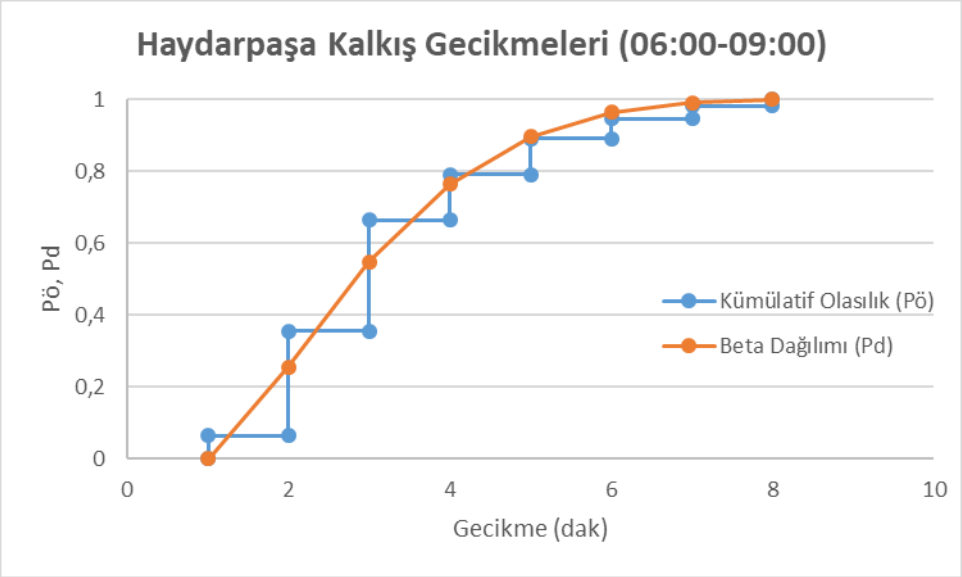


Şekil 3.7 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için gama dağılımı (sabah zirvesi)

Benzer şekilde, Beta dağılımı üzerinde Kolmogorov-Smirnov testi Tablo 3.7'de ve Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Hesaplanan en büyük mutlak değer (0,11) kritik değerden (0,13) küçük olduğu için, Haydarpaşa'dan sabah zirvesinde kalkış gecikmeleri beta dağılımına da uygundur.

Tablo 3.7 Beta dağılımı için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi (sabah zirvesi)

Sınıf ya da Gecikme (i)	Gerçek Örnek (ni)	Kümülatif Örnek	Kümülatif Olasılık (örnek) (Pö)	Kümülatif Olasılık (dağılım) (Pd)	|Pö-Pd|
1	7	7	0,06	0,00	0,06
2	32	39	0,35	0,26	0,09
3	34	73	0,66	0,55	0,11
4	14	87	0,79	0,76	0,03
5	11	98	0,89	0,90	0,01
6	6	104	0,95	0,96	0,01
7	4	108	0,98	0,99	0,01
8	2	110	1	1,00	0,00

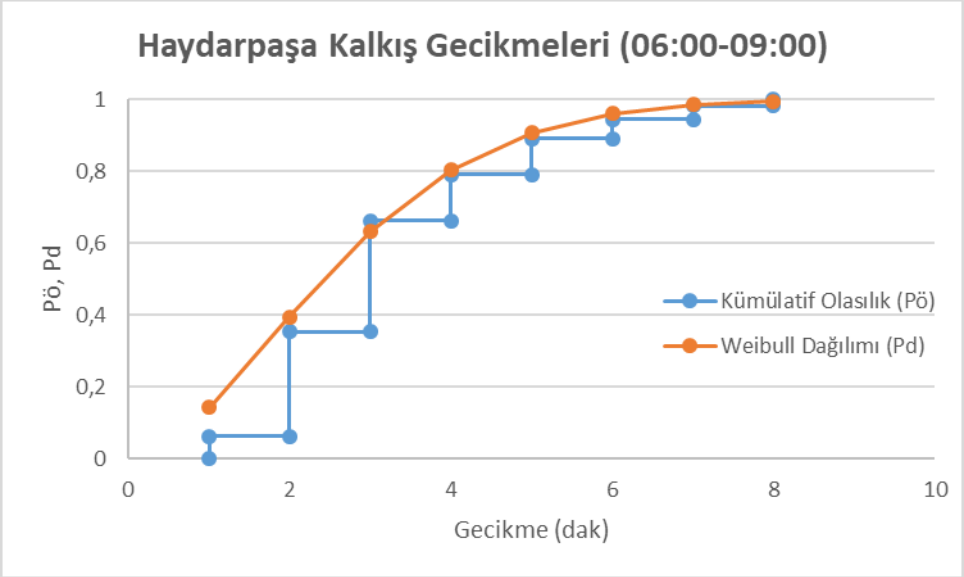


Şekil 3.8 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için beta dağılımı (sabah zirvesi)

Benzer şekilde, Weibull dağılımı üzerinde Kolmogorov-Smirnov testi Tablo 3.8'de ve Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Hesaplanan en büyük mutlak değer (0,08) kritik değerden (0,13) küçük olduğu için, Haydarpaşa'dan sabah zirvesinde kalkış gecikmeleri weibull dağılımına da uygundur.

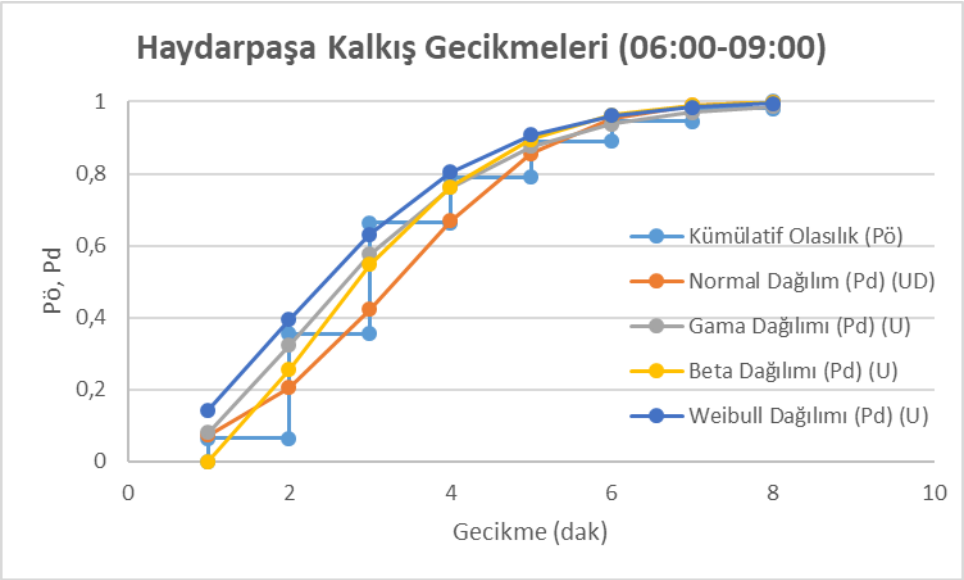
Tablo 3.8 Weibull dağılımı için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi (sabah zirvesi)

Sınıf ya da Gecikme (i)	Gerçek Örnek (ni)	Kümülatif Örnek	Kümülatif Olasılık (örnek) (Pö)	Kümülatif Olasılık (dağılım) (Pd)	IPö-Pdl
1	7	7	0,06	0,1400	0,08
2	32	39	0,35	0,3900	0,04
3	34	73	0,66	0,6300	0,03
4	14	87	0,79	0,8000	0,01
5	11	98	0,89	0,9100	0,02
6	6	104	0,95	0,9600	0,01
7	4	108	0,98	0,9900	0,01
8	2	110	1	1,0000	0,00



Şekil 3.9 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için weibull dağılımı (sabah zirvesi)

Kolmogorov-Smirnov uyum testi uygulanan olasılık dağılımları toplu olarak Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için normal-gama-beta-weibull dağılımı (sabah zirvesi)

3.3 Haydarpaşa Kalkış Gecikmeleri İçin Ki-Kare Uyum Testi (Akşam Zirvesi)

Haydarpaşa akşam zirvesi kalkış gecikmeleri için, normal dağılım üzerinde Ki-kare testi yapalım.

Gecikmelerin ortalama değeri μ = 3,47 dakika, standart sapması σ = 1,88 dakika ve veri sayısı n = 106, sınıf sayısı N = 6 adettir. Buna göre serbestlik derecesi 6-2-1=3 olarak hesaplanır.

Ki-kare uygunluk testinin normal dağılım için uygulanması Tablo 3.9'da gösterilmiştir. Tablo 3.9'un birinci satırı için işlemler şu şekildedir.

Kümülatif olasılık değerlerini Excel'de fonksiyon kütüphanesinden hesaplamak mümkündür. Normal dağılım için NORM.DAĞ(B8;B2;B3;DOĞRU) fonksiyonu kullanılarak kümülatif olasılık (0,09) bulunur. Burada,

B8 = Sınıf sütununda ilk satırı temsil eden 1 dakikalık gecikmenin bulunduğu hücre

B2 = Ortalama Değer'in (μ) (3,47 dak) bulunduğu hücre

B3= Standart Sapma'nın (σ) (1,88 dak) bulunduğu hücre

Ardışık beklenen kümülatif olasılıkların farkı alınarak beklenen sınıf olasılıkları hesaplanır. Bu olasılıklar toplam gözlem sayısı ile çarpılarak beklenen gözlem sayısı tahmin edilir. Beklenen sınıf olasılığı x *n* => 0,09 x 106 = 9,54

Buna göre, birinci satırın ki-kare değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

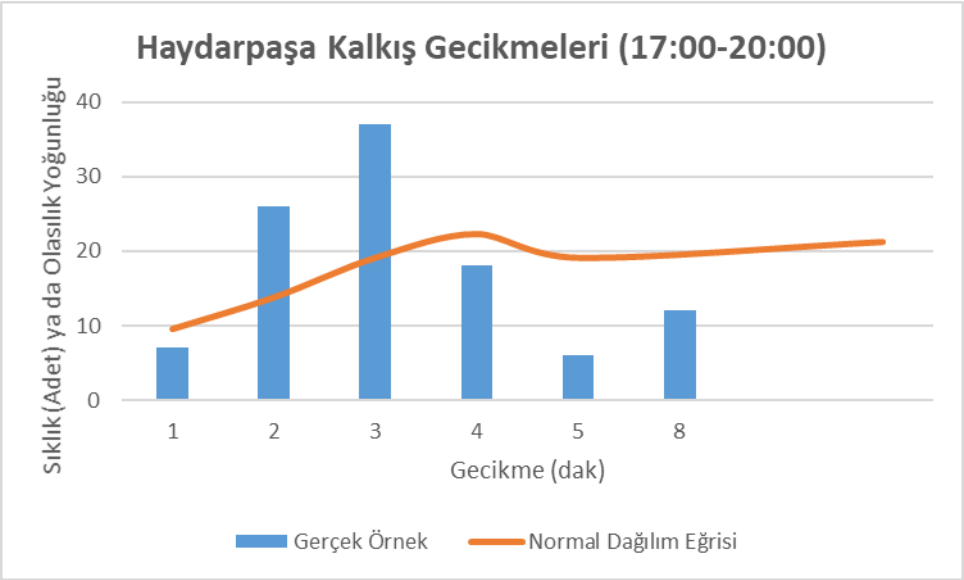
$$\frac{(n_i - e_i)^2}{e_i} => \frac{(7 - 9{,}54)^2}{9{,}54} = 0{,}68$$

Kritik ki-kare değeri ise ki-kare tablosundan α = 0,05 anlamlılık düzeyi ve f = 6 – 2 – 1 = 3 serbestlik derecesi için 7,81 olarak okunmuştur. Toplam ki-kare değeri (42,13) kritik değerden (7,81) büyük olduğu için sıfır hipotezi (H_o) reddedilir, yani Haydarpaşa'dan akşam zirvesinde kalkış gecikmeleri normal dağılıma uygun değildir. Sınıf ya da gecikme sütununda 6 dakikalık gecikme 3 sefer, 7 dakikalık gecikme 6 sefer ve 8 dakikalık gecikme 3 sefer gerçekleşmiştir. 6, 7 ve 8 dakikalık sınıflar birleştirilmiştir.

Tablo 3.9 Normal dağılım için ki-kare uygunluk testi (akşam zirvesi)

Sınıf ya da Gecikme (i)	Gerçek Örnek (ni)	Beklenen Kümülatif Olasılık	Beklenen Sınıf Olasılığı	Beklenen Örnek Sayısı (ei)	Sınıfın Ki-Kare Değeri (χ^2)
1	7	0,09	0,09	9,54	0,68
2	26	0,22	0,13	13,78	10,84
3	37	0,40	0,18	19,08	16,83
4	18	0,61	0,21	22,26	0,82
5	6	0,79	0,18	19,08	8,97
8	12	0,99	0,20	21,20	3,99
Toplam	106			106	42,13

Gözlem verilerinin histogram grafiği ile normal dağılım fonksiyonunun grafiği Şekil 3.11'de gösterilmiştir.

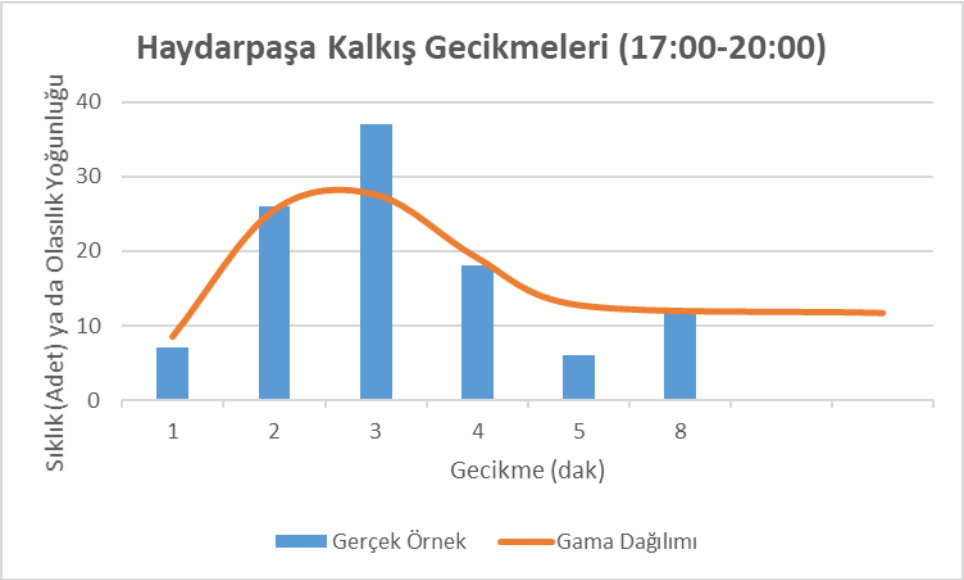


Şekil 3.11 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için normal dağılım (akşam zirvesi)

Benzer şekilde, Gama dağılımı üzerinde ki-kare testi Tablo 3.10'da ve Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Toplam ki-kare değeri (7,12) kritik ki-kare değerinden (7,81) küçük olduğu için sıfır hipotezi (H_o) kabul edilir, yani Haydarpaşa'dan akşam zirvesinde kalkış gecikmeleri gama dağılımına uygundur.

Tablo 3.10 Gama dağılımı için ki-kare uygunluk testi (akşam zirvesi)

Sınıf ya da Gecikme (i)	Gerçek Örnek (ni)	Beklenen Kümülatif Olasılık	Beklenen Sınıf Olasılığı	Beklenen Örnek Sayısı (ei)	Sınıfın Ki-Kare Değeri (χ^2)
1	7	0,08	0,08	8,48	0,26
2	26	0,32	0,24	25,44	0,01
3	37	0,58	0,26	27,56	3,23
4	18	0,76	0,18	19,08	0,06
5	6	0,88	0,12	12,72	3,55
8	12	0,99	0,11	11,66	0,00
Toplam	106			106	7,12

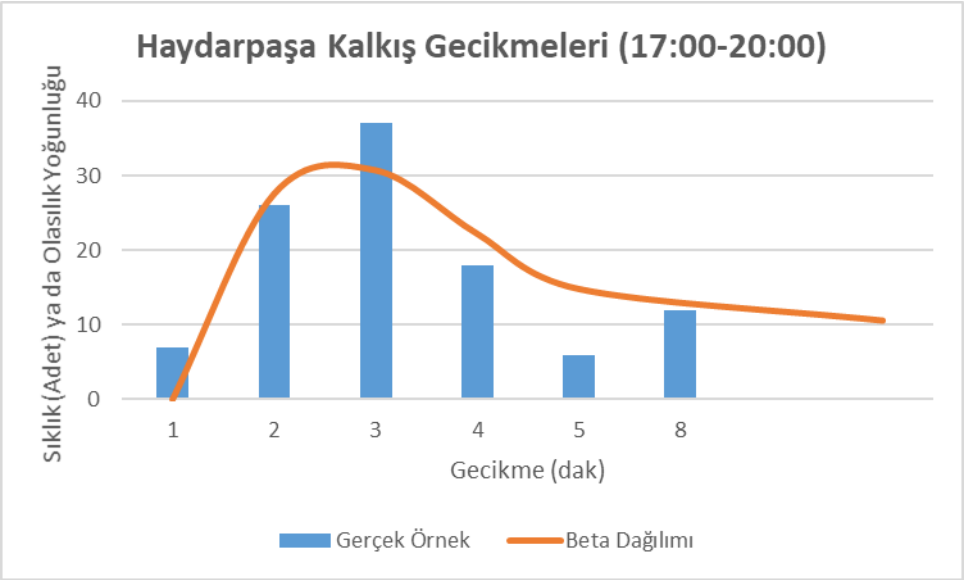


Şekil 3.12 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için gama dağılımı (akşam zirvesi)

Benzer şekilde, Beta dağılımı üzerinde ki-kare testi Tablo 3.11'de ve Şekil 3.13'te gösterilmiştir. Toplam ki-kare değeri (7,63) kritik ki-kare değerinden (7,81) küçük olduğu için sıfır hipotezi (H_o) kabul edilir, yani Haydarpaşa'dan akşam zirvesinde kalkış gecikmeleri beta dağılımına da uygundur.

Tablo 3.11 Beta dağılımı için ki-kare uygunluk testi (akşam zirvesi)

Sınıf ya da Gecikme (i)	Gerçek Örnek (ni)	Beklenen Kümülatif Olasılık	Beklenen Sınıf Olasılığı	Beklenen Örnek Sayısı (ei)	Sınıfın Ki-Kare Değeri (χ^2)
1	7	0,00	0,00	0,00	0,00
2	26	0,26	0,26	27,56	0,09
3	37	0,55	0,29	30,74	1,27
4	18	0,76	0,21	22,26	0,82
5	6	0,90	0,14	14,84	5,27
8	12	1,00	0,10	10,60	0,18
Toplam	106			106	7,63

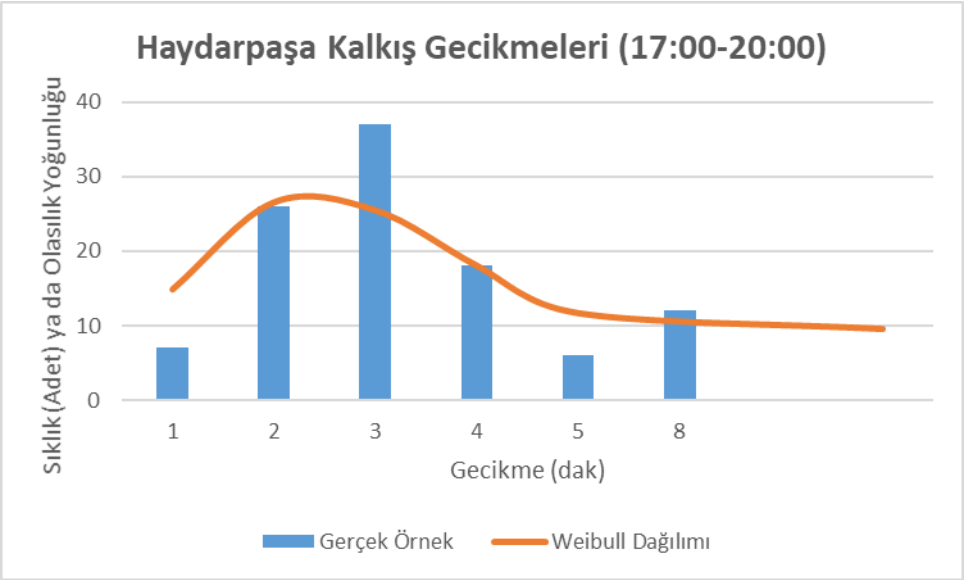


Şekil 3.13 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için beta dağılımı (akşam zirvesi)

Benzer şekilde, Weibull dağılımı üzerinde ki-kare testi Tablo 3.12'de ve Şekil 3.14'te gösterilmiştir. Toplam ki-kare değeri (12,79) kritik ki-kare değerinden (7,81) büyük olduğu için sıfır hipotezi (H_o) reddedilir, yani Haydarpaşa'dan akşam zirvesinde kalkış gecikmeleri weibull dağılımına uygun değildir.

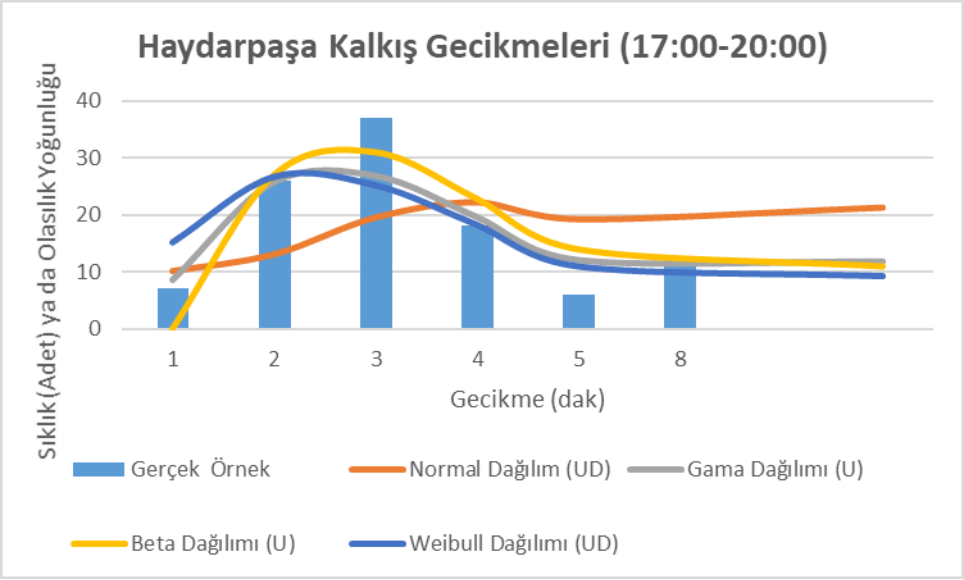
Tablo 3.12 Weibull dağılımı için ki-kare uygunluk testi (akşam zirvesi)

Sınıf ya da Gecikme (i)	Gerçek Örnek (ni)	Beklenen Kümülatif Olasılık	Beklenen Sınıf Olasılığı	Beklenen Örnek Sayısı (ei)	Sınıfın Ki-Kare Değeri (χ^2)
1	7	0,14	0,14	14,84	4,14
2	26	0,39	0,25	26,50	0,01
3	37	0,63	0,24	25,44	5,25
4	18	0,80	0,17	18,02	0,00
5	6	0,91	0,11	11,66	2,75
8	12	1,00	0,09	9,54	0,63
toplam	106			106	12,79



Şekil 3.14 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için weibull dağılımı (akşam zirvesi)

Ki-kare uyum testi uygulanan olasılık dağılımları toplu olarak Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.15 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için normal-gama-beta-weibull dağılımı (akşam zirvesi)

3.4 Haydarpaşa Kalkış Gecikmeleri İçin Kolmogorov-Smirnov Uyum Testi (Akşam Zirvesi)

Haydarpaşa akşam zirvesi kalkış gecikmeleri için normal dağılım üzerinde Kolmogorov-Smirnov testi yapalım.

Gecikmelerin ortalama değeri μ = 3,35 dakika, standart sapması σ = 1,63 dakika ve veri sayısı n = 106 adettir.

Kolmogorov-Smirnov uygunluk testinin normal dağılım için uygulanması Tablo 3.13'te gösterilmiştir. Tablo 3.13'ün birinci satırı için işlemler şu şekildedir.

Sınıf numarası ya da kalkış gecikmesi, i = 1 dakikadır.

Bu sınıftaki gözlenen ya da gerçek örnek sayısı n_i = 7'dir.

Kümülatif örnek sayısı = 7

$P_{ö} = n_i / n$ => 7 / 106 = 0,07

Kümülatif olasılık (P_d) değerlerini Excel'de fonksiyon kütüphanesinden hesaplamak mümkündür. Normal dağılım için NORM.DAĞ(B8;B2;B3;DOĞRU) fonksiyonu kullanılarak kümülatif olasılık P_d = 0,07 bulunur. Burada,

B8 = Sınıf sütununda ilk satırı temsil eden 1 dakikalık gecikmenin bulunduğu hücre

B2= Ortalama Değer'in (μ) (3,35 dak) bulunduğu hücre

B3= Standart Sapma'nın (σ) (1,63 dak) bulunduğu hücre

$|P_{ö}-P_d|$ => |0,07-0,07| = 0,00

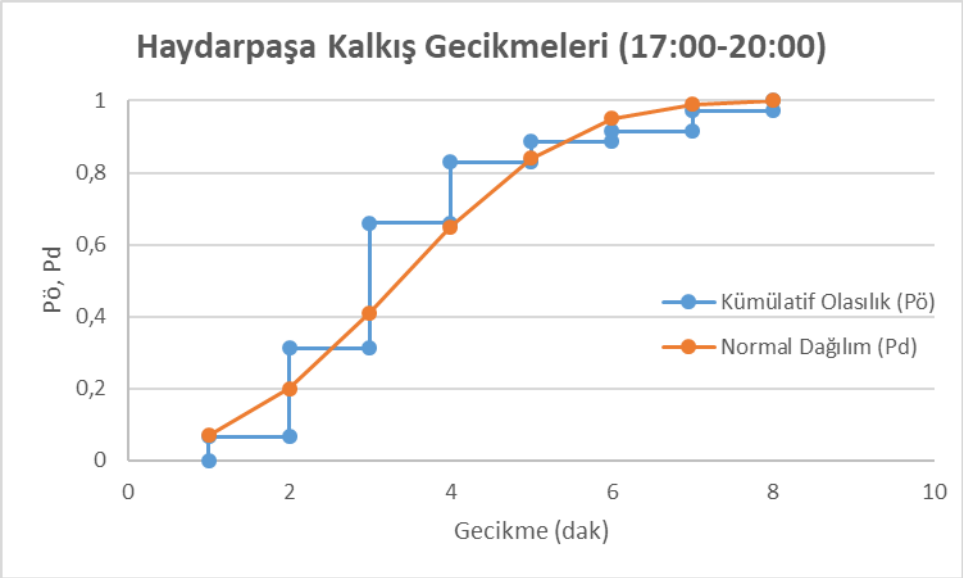
En büyük mutlak değer farkı 0,25'dir.

Kritik değer ise tablodan α = 0,05 anlamlılık düzeyi için 0,13 olarak okunmuştur. En büyük mutlak fark (0,25) kritik değerden (0,13) büyük olduğu için, Haydarpaşa'dan akşam zirvesinde kalkış gecikmeleri normal dağılıma uygun değildir.

Tablo 3.13 Normal dağılım için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi (akşam zirvesi)

Sınıf ya da Gecikme (i)	Gerçek Örnek (ni)	Kümülatif Örnek	Kümülatif Olasılık (örnek) (Pö)	Kümülatif Olasılık (dağılım) (Pd)	IPö-Pdl
1	7	7	0,07	0,07	0,00
2	26	33	0,31	0,20	0,11
3	37	70	0,66	0,41	0,25
4	18	88	0,83	0,65	0,18
5	6	94	0,89	0,84	0,05
6	3	97	0,92	0,95	0,03
7	6	103	0,97	0,99	0,02
8	3	106	1	1,00	0,00

Gözlem verilerinin kümülatif olasılık grafiği ile normal dağılımın kümülatif olasılık grafiği Şekil 3.16'da gösterilmiştir. En büyük fark (0,25), 3 dakika gecikme değerinde görülmektedir.

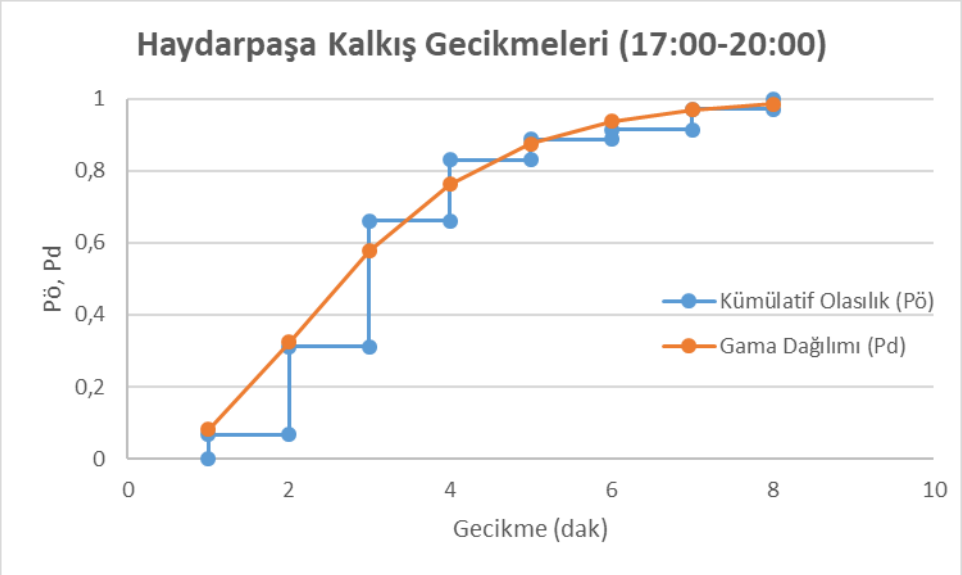


Şekil 3.16 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için normal dağılım (akşam zirvesi)

Benzer şekilde, Gama dağılımı üzerinde Kolmogorov-Smirnov testi Tablo 3.14'te ve Şekil 3.17'de gösterilmiştir. Hesaplanan en büyük mutlak değer (0,08) kritik değerden (0,13) küçük olduğu için, Haydarpaşa'dan akşam zirvesinde kalkış gecikmeleri gama dağılımına uygundur.

Tablo 3.14 Gama dağılımı için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi (akşam zirvesi)

Sınıf ya da Gecikme (i)	Gerçek Örnek (ni)	Kümülatif Örnek	Kümülatif Olasılık (örnek) (Pö)	Kümülatif Olasılık (dağılım) (Pd)	IPö-PdI
1	7	7	0,07	0,08	0,01
2	26	33	0,31	0,32	0,01
3	37	70	0,66	0,58	0,08
4	18	88	0,83	0,76	0,07
5	6	94	0,89	0,88	0,01
6	3	97	0,92	0,94	0,02
7	6	103	0,97	0,97	0,00
8	3	106	1	0,99	0,01

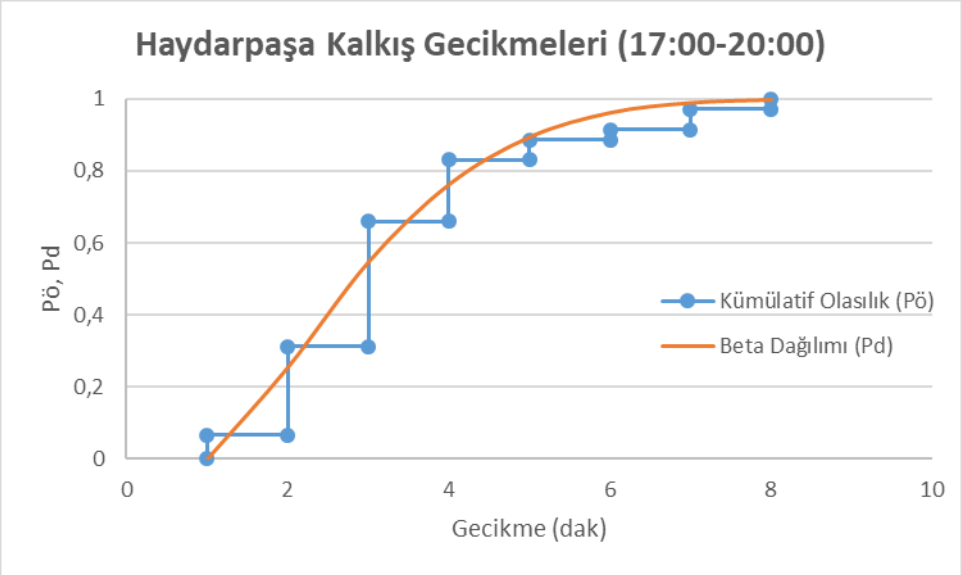


Şekil 3.17 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için gama dağılımı (akşam zirvesi)

Benzer şekilde, Beta dağılımı üzerinde Kolmogorov-Smirnov testi Tablo 3.15'te ve Şekil 3.18'de gösterilmiştir. Hesaplanan en büyük mutlak değer (0,11) kritik değerden (0,13) küçük olduğu için, Haydarpaşa'dan akşam zirvesinde kalkış gecikmeleri beta dağılımına da uygundur.

Tablo 3.15 Beta dağılımı için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi (akşam zirvesi)

Sınıf ya da Gecikme (i)	Gerçek Örnek (ni)	Kümülatif Örnek	Kümülatif Olasılık (örnek) (Pö)	Kümülatif Olasılık (dağılım) (Pd)	IPö-PdI
1	7	7	0,07	0,00	0,07
2	26	33	0,31	0,26	0,05
3	37	70	0,66	0,55	0,11
4	18	88	0,83	0,76	0,07
5	6	94	0,89	0,90	0,01
6	3	97	0,92	0,96	0,04
7	6	103	0,97	0,99	0,02
8	3	106	1	1,00	0,00

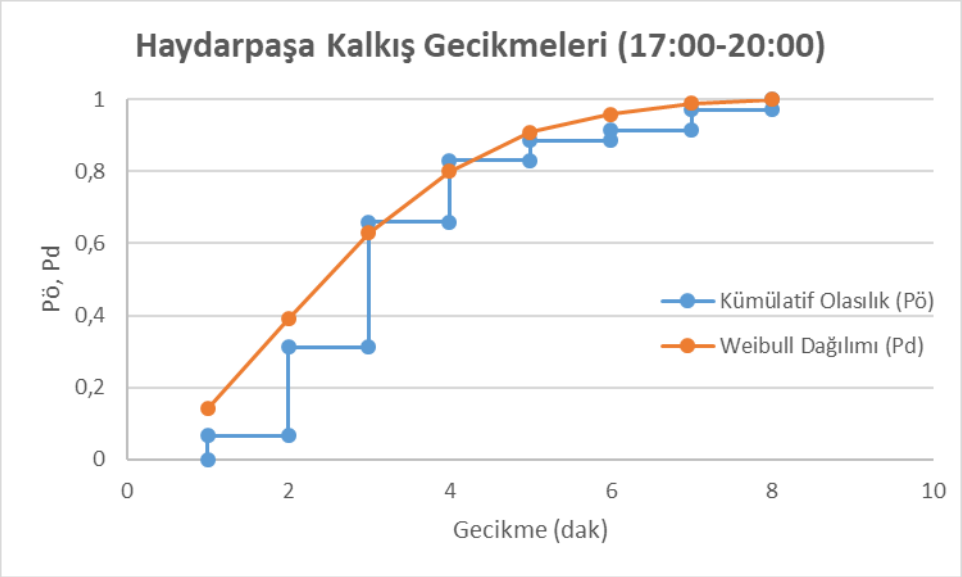


Şekil 3.18 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için beta dağılımı (akşam zirvesi)

Benzer şekilde, Weibull dağılımı üzerinde Kolmogorov-Smirnov testi Tablo 3.16'da ve Şekil 3.19'da gösterilmiştir. Hesaplanan en büyük mutlak değer (0,08) kritik değerden (0,13) küçük olduğu için, Haydarpaşa'dan akşam zirvesinde kalkış gecikmeleri weibull dağılımına da uygundur.

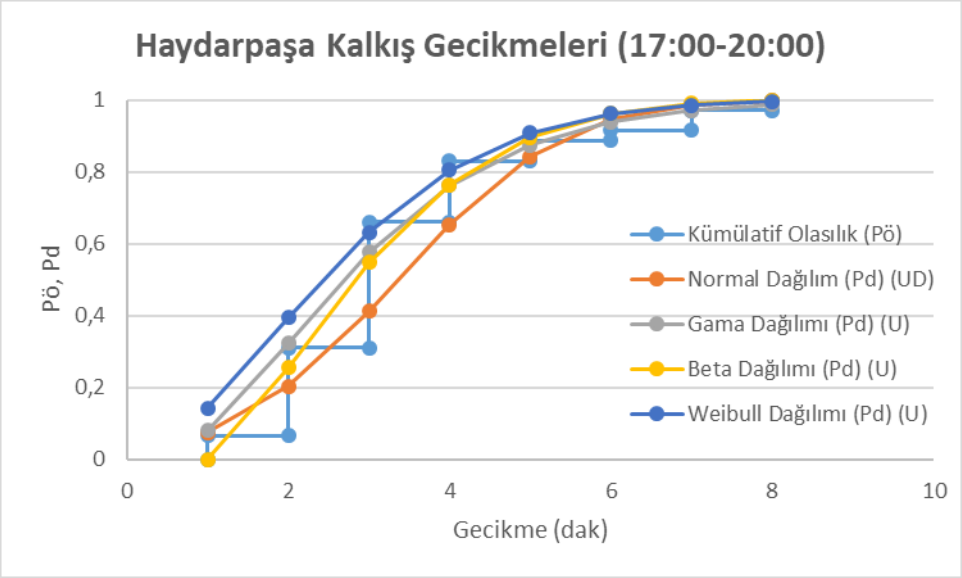
Tablo 3.16 Weibull dağılımı için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi (akşam zirvesi)

Sınıf ya da Gecikme (i)	Gerçek Örnek (ni)	Kümülatif Örnek	Kümülatif Olasılık (örnek) (Pö)	Kümülatif Olasılık (dağılım) (Pd)	IPö-PdI
1	7	7	0,07	0,14	0,07
2	26	33	0,31	0,39	0,08
3	37	70	0,66	0,63	0,03
4	18	88	0,83	0,80	0,03
5	6	94	0,89	0,91	0,02
6	3	97	0,92	0,96	0,04
7	6	103	0,97	0,99	0,02
8	3	106	1	1,00	0,00



Şekil 3.19 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için weibull dağılımı (akşam zirvesi)

Kolmogorov-Smirnov uyum testi uygulanan olasılık dağılımları toplu olarak Şekil 3.20'de gösterilmiştir.



Şekil 3.20 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri için normal-gama-beta-weibull dağılımı (akşam zirvesi)

3.5 Haydarpaşa-Gebze Seyir Süreleri İçin Ki-Kare Uyum Testi (Sabah Zirvesi)

Haydarpaşa-Gebze sabah zirvesi seyir süreleri için, normal dağılım üzerinde Ki-kare testi yapalım.

Seyir sürelerinin ortalama değeri μ = 61,95 dakika, standart sapması σ = 2,53 dakika veri sayısı n = 73, sınıf sayısı N = 9 adettir. Buna göre serbestlik derecesi 9-2-1=6 olarak hesaplanır.

Ki-kare uygunluk testinin normal dağılım için uygulanması Tablo 3.17'de gösterilmiştir. Tablo 3.17'nin birinci satırı için işlemler şu şekildedir.

Kümülatif olasılık değerlerini Excel'de fonksiyon kütüphanesinden hesaplamak mümkündür. Normal dağılım için NORM.DAĞ(B8;B2;B3;DOĞRU) fonksiyonu kullanılarak kümülatif olasılık (0,06) bulunur. Burada,

B8 = Sınıf sütununda ilk satırı temsil eden 58 dakikalık seyir süresinin bulunduğu hücre

B2 = Ortalama Değer'in (μ) (61,95 dak) bulunduğu hücre

B3= Standart Sapma'nın (σ) (2,53 dak) bulunduğu hücre

Ardışık beklenen kümülatif olasılıkların farkı alınarak beklenen sınıf olasılıkları hesaplanır. Bu olasılıklar toplam gözlem sayısı ile çarpılarak beklenen gözlem sayısı tahmin edilir. Beklenen sınıf olasılığı x *n* => 0,06 x 73 = 4,38

Buna göre, birinci satırın ki-kare değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

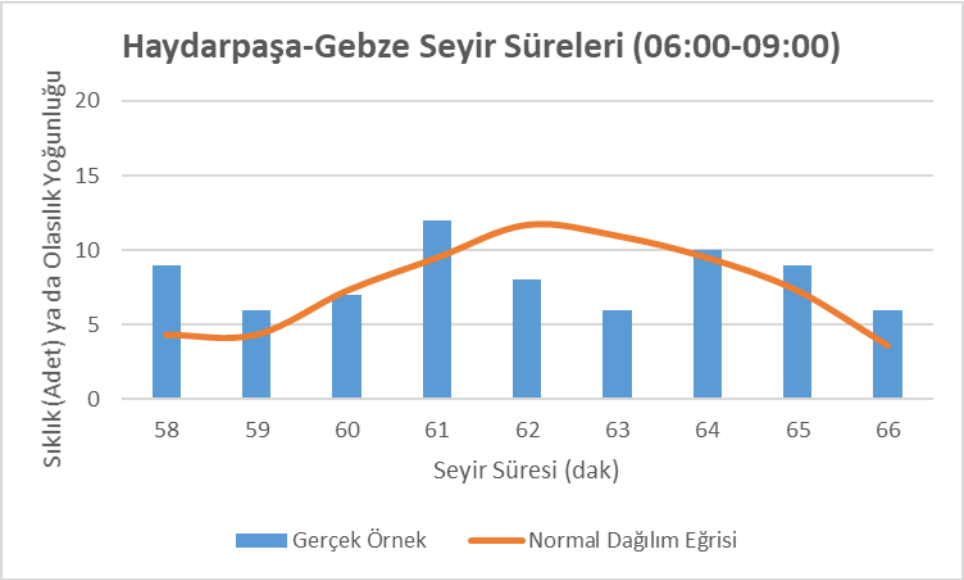
$$\frac{(n_i - e_i)^2}{e_i} \Rightarrow \frac{(9 - 4{,}38)^2}{4{,}38} = 4{,}87$$

Kritik ki-kare değeri ise ki-kare tablosundan α = 0,05 anlamlılık düzeyi ve f = 9 – 2 – 1 = 6 serbestlik derecesi için 12,59 olarak okunmuştur. Toplam ki-kare değeri (11,48) kritik değerden (12,59) küçük olduğu için sıfır hipotezi (H_o) kabul edilir, yani Haydarpaşa-Gebze sabah zirvesinde seyir süreleri normal dağılıma uygundur. Seyahat süresi 55 dakikalık seyir 1 defa, 56 dakikalık seyir 2 defa, 57 dakikalık seyir 3 defa, 58 dakikalık seyir 3 defa gerçekleşmiştir. Bu 4 sınıfta gerçekleşen örnek sayısı 5'ten küçük olduğu için, bu sınıflar birleştirilmiştir.

Tablo 3.17 Normal dağılım için ki-kare uygunluk testi (sabah zirvesi)

Seyahat Süresi (dak) (i)	Gerçek Örnek (ni)	Beklenen Kümülatif Olasılık	Beklenen Sınıf Olasılığı	Beklenen Örnek Sayısı (ei)	Sınıfın Ki-Kare Değeri (χ^2)
58	9	0,06	0,06	4,38	4,87
59	6	0,12	0,06	4,38	0,60
60	7	0,22	0,10	7,30	0,01
61	12	0,35	0,13	9,49	0,66
62	8	0,51	0,16	11,68	1,16
63	6	0,66	0,15	10,95	2,24
64	10	0,79	0,13	9,49	0,03
65	9	0,89	0,10	7,30	0,40
66	6	0,94	0,05	3,65	1,51
Toplam	73			73	11,48

Gözlem verilerinin histogram grafiği ile normal dağılım fonksiyonunun grafiği Şekil 3.21'de gösterilmiştir.

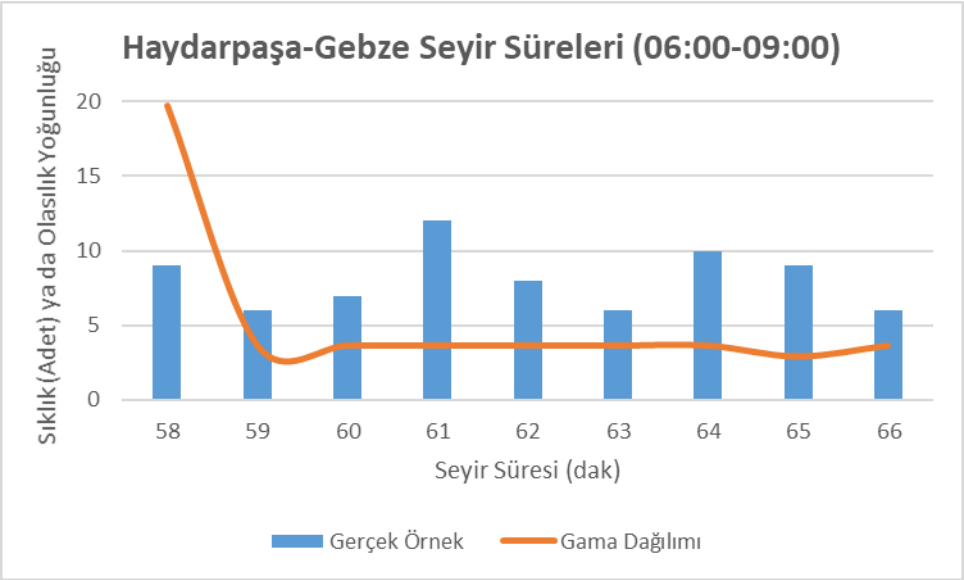


Şekil 3.21 Haydarpaşa-Gebze seyir süreleri için normal dağılım (sabah zirvesi)

Benzer şekilde, Gama dağılımı üzerinde ki-kare testi Tablo 3.18'de ve Şekil 3.22'de gösterilmiştir. Toplam ki-kare değeri (61,42) kritik ki-kare değerinden (12,59) büyük olduğu için sıfır hipotezi (H_o) reddedilir, yani Haydarpaşa-Gebze sabah zirvesinde seyir süreleri gama dağılımına da uygun değildir.

Tablo 3.18 Gama dağılımı için ki-kare uygunluk testi (sabah zirvesi)

Seyahat Süresi (dak) (i)	Gerçek Örnek	Beklenen Kümülatif Olasılık	Beklenen Sınıf Olasılığı	Beklenen Örnek Sayısı (ei)	Sınıfın Ki-Kare Değeri (χ^2)
58	9	0,27	0,27	19,71	5,82
59	6	0,32	0,05	3,65	1,51
60	7	0,37	0,05	3,65	3,07
61	12	0,42	0,05	3,65	19,10
62	8	0,47	0,05	3,65	5,18
63	6	0,52	0,05	3,65	1,51
64	10	0,57	0,05	3,65	11,05
65	9	0,61	0,04	2,92	12,66
66	6	0,66	0,05	3,65	1,51
Toplam	73			73	61,42

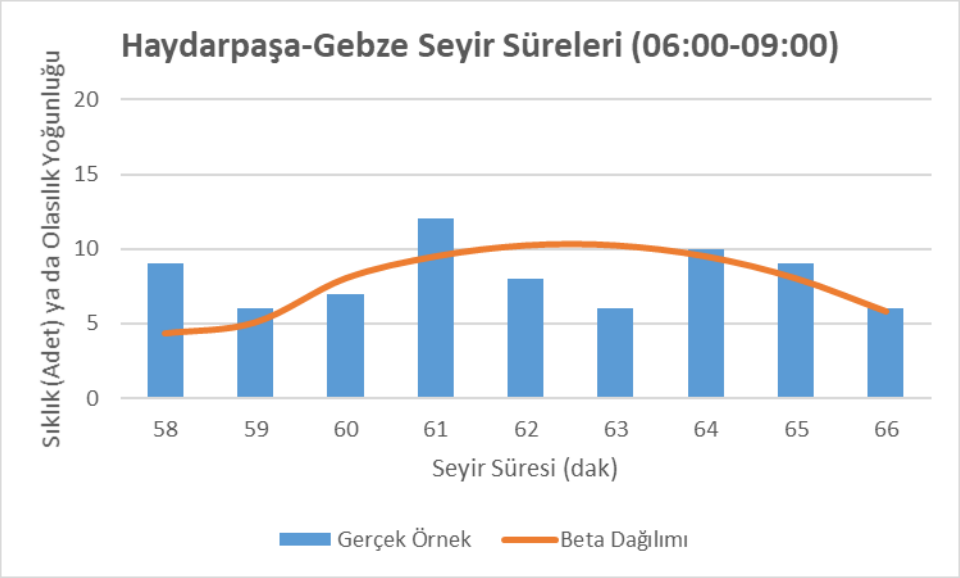


Şekil 3.22 Haydarpaşa-Gebze seyir süreleri için gama dağılımı (sabah zirvesi)

Benzer şekilde, Beta dağılımı üzerinde ki-kare testi Tablo 3.19'da ve Şekil 3.23'te gösterilmiştir. Toplam ki-kare değeri (8,20) kritik ki-kare değerinden (12,59) küçük olduğu için sıfır hipotezi (H_o) kabul edilir, yani Haydarpaşa-Gebze sabah zirvesinde seyir süreleri beta dağılımına da uygundur.

Tablo 3.19 Beta dağılımı için ki-kare uygunluk testi (sabah zirvesi)

Seyahat Süresi (dak) (i)	Gerçek Örnek (ni)	Beklenen Kümülatif Olasılık	Beklenen Sınıf Olasılığı	Beklenen Örnek Sayısı (ei)	Sınıfın Ki-Kare Değeri (χ^2)
58	9	0,06	0,06	4,38	4,87
59	6	0,13	0,07	5,11	0,16
60	7	0,24	0,11	8,03	0,13
61	12	0,37	0,13	9,49	0,66
62	8	0,51	0,14	10,22	0,48
63	6	0,65	0,14	10,22	1,74
64	10	0,78	0,13	9,49	0,03
65	9	0,89	0,11	8,03	0,12
66	6	0,97	0,08	5,84	0,00
Toplam	73			73	8,20

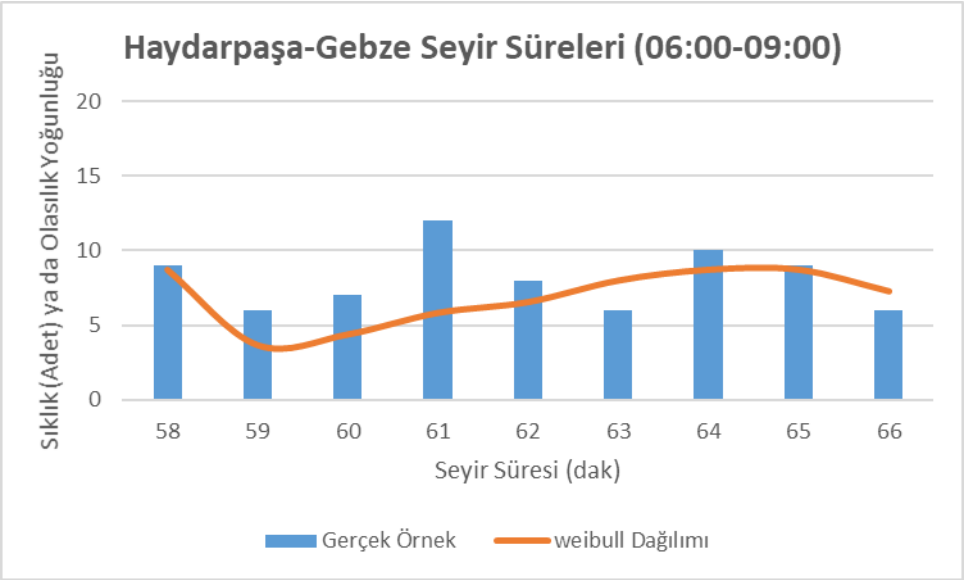


Şekil 3.23 Haydarpaşa-Gebze seyir süreleri için beta dağılımı (sabah zirvesi)

Benzer şekilde, Weibull dağılımı üzerinde ki-kare testi Tablo 3.20'de ve Şekil 3.24'te gösterilmiştir. Toplam ki-kare değeri (10,59) kritik ki-kare değerinden (12,59) küçük olduğu için sıfır hipotezi (H_o) kabul edilir, yani Haydarpaşa-Gebze sabah zirvesinde seyir süreleri weibull dağılımına da uygundur.

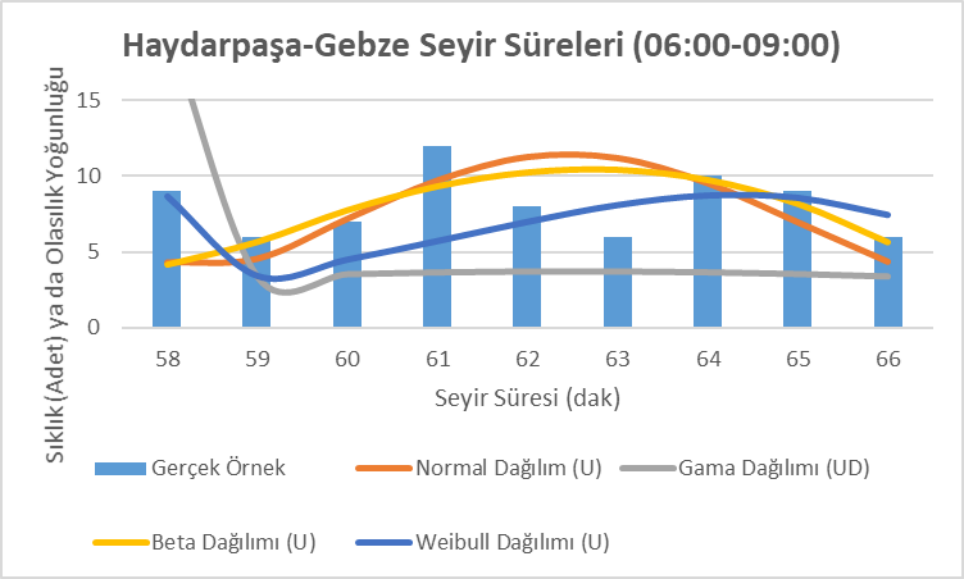
Tablo 3.20 Weibull dağılımı için ki-kare uygunluk testi (sabah zirvesi)

Seyahat Süresi (dak) (i)	Gerçek Örnek	Beklenen Kümülatif Olasılık	Beklenen Sınıf Olasılığı	Beklenen Örnek Sayısı (ei)	Sınıfın Ki-Kare Değeri (χ^2)
58	9	0,12	0,12	8,76	0,01
59	6	0,17	0,05	3,65	1,51
60	7	0,23	0,06	4,38	1,57
61	12	0,31	0,08	5,84	6,50
62	8	0,40	0,09	6,57	0,31
63	6	0,51	0,11	8,03	0,51
64	10	0,63	0,12	8,76	0,18
65	9	0,75	0,12	8,76	0,01
66	6	0,85	0,10	7,30	0,00
Toplam	73			73	10,59



Şekil 3.24 Haydarpaşa-Gebze seyir süreleri için weibull dağılımı (sabah zirvesi)

Ki-kare uyum testi uygulanan olasılık dağılımları toplu olarak Şekil 3.25'te gösterilmiştir.



Şekil 3.25 Haydarpaşa-Gebze seyir süreleri için normal-gama-beta-weibull dağılımı (sabah zirvesi)

3.6 Haydarpaşa-Gebze Seyir Süreleri İçin Kolmogorov-Smirnov Uyum Testi (Sabah Zirvesi)

Haydarpaşa-Gebze sabah zirvesi seyir süreleri için, normal dağılım üzerinde Kolmogorov-Smirnov testi yapalım.

Seyir sürelerinin ortalama değeri μ = 61,83 dakika, standart sapması σ = 2,80 dakika ve veri sayısı *n* = 73 adettir.

Kolmogorov-Smirnov uygunluk testinin normal dağılım için uygulanması Tablo 3.21'de gösterilmiştir. Tablo 3.21'in birinci satırı için işlemler şu şekildedir.

Seyir süresi, *i* = 55 dakikadır.

Bu sınıftaki gözlenen ya da gerçek örnek sayısı n_i = 1'dir.

Kümülatif örnek sayısı = 1

$P_{ö} = n_i / n$ => 1 / 73 = 0,01

Kümülatif olasılık değerlerini Excel'de fonksiyon kütüphanesinden hesaplamak mümkündür. Normal dağılım için NORM.DAĞ(B8;B2;B3;DOĞRU) fonksiyonu kullanılarak kümülatif olasılık (0,01) bulunur. Burada,

B8 = Sınıf sütununda ilk satırı temsil eden 55 dakikalık seyir süresinin bulunduğu hücre

B2 = Ortalama Değer'in (μ) (61,83 dak.) bulunduğu hücre

B3 = Standart Sapma'nın (σ) (2,80 dak.) bulunduğu hücre

$|P_{ö}-P_{d}|$ => |0,01-0,01| = 0,00

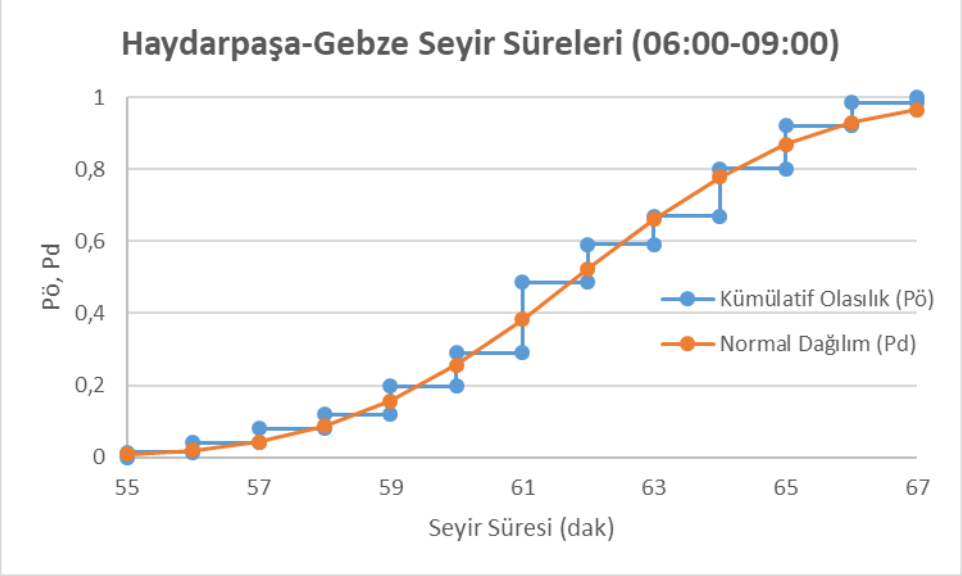
En büyük mutlak değer farkı 0,09'dir.

Kritik değer ise tablodan α = 0,05 anlamlılık düzeyi için 0,16 olarak okunmuştur. En büyük mutlak fark (0,09) kritik değerden (0,16) küçük olduğu için, Haydarpaşa-Gebze sabah zirvesinde seyir süreleri normal dağılıma uygundur.

Tablo 3.21 Normal dağılım için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi (sabah zirvesi)

Seyahat Süresi (dak) (i)	Gerçek Örnek (ni)	Kümülatif Örnek	Kümülatif Olasılık (örnek) (Pö)	Kümülatif Olasılık (dağılım) (Pd)	|Pö-Pd|
55	1	1	0,01	0,01	0,00
56	2	3	0,04	0,02	0,02
57	3	6	0,08	0,04	0,04
58	3	9	0,12	0,09	0,03
59	6	15	0,21	0,16	0,05
60	7	22	0,3	0,26	0,04
61	12	34	0,47	0,38	0,09
62	8	42	0,58	0,52	0,06
63	6	48	0,66	0,66	0,00
64	10	58	0,79	0,78	0,01
65	9	67	0,92	0,87	0,05
66	5	72	0,99	0,93	0,06
67	1	73	1	0,97	0,03

Gözlem verilerinin kümülatif olasılık grafiği ile normal dağılımın kümülatif olasılık grafiği Şekil 3.26'da gösterilmiştir.

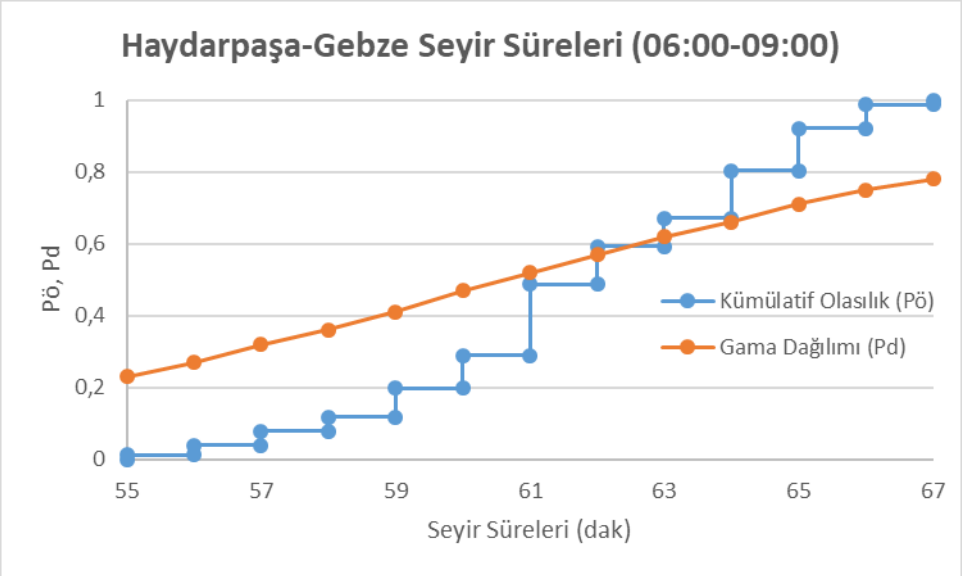


Şekil 3.26 Haydarpaşa-Gebze seyir süreleri için normal dağılım (sabah zirvesi)

Benzer şekilde, Gama dağılımı üzerinde Kolmogorov-Smirnov testi Tablo 3.22'de ve Şekil 3.27'de gösterilmiştir. Hesaplanan en büyük mutlak değer (0,24) kritik değerden (0,16) büyük olduğu için, Haydarpaşa-Gebze sabah zirvesinde seyir süreleri gama dağılımına uygun değildir.

Tablo 3.22 Gama dağılımı için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi (sabah zirvesi)

Seyahat Süresi (dak) (i)	Gerçek Örnek (ni)	Kümülatif Örnek	Kümülatif Olasılık (örnek) (Pö)	Kümülatif Olasılık (dağılım) (Pd)	IPö-Pdl
55	1	1	0,01	0,23	0,22
56	2	3	0,04	0,27	0,23
57	3	6	0,08	0,32	0,24
58	3	9	0,12	0,36	0,24
59	6	15	0,21	0,41	0,20
60	7	22	0,3	0,47	0,17
61	12	34	0,47	0,52	0,05
62	8	42	0,58	0,57	0,01
63	6	48	0,66	0,62	0,04
64	10	58	0,79	0,66	0,13
65	9	67	0,92	0,71	0,21
66	5	72	0,99	0,75	0,24
67	1	73	1	0,78	0,22

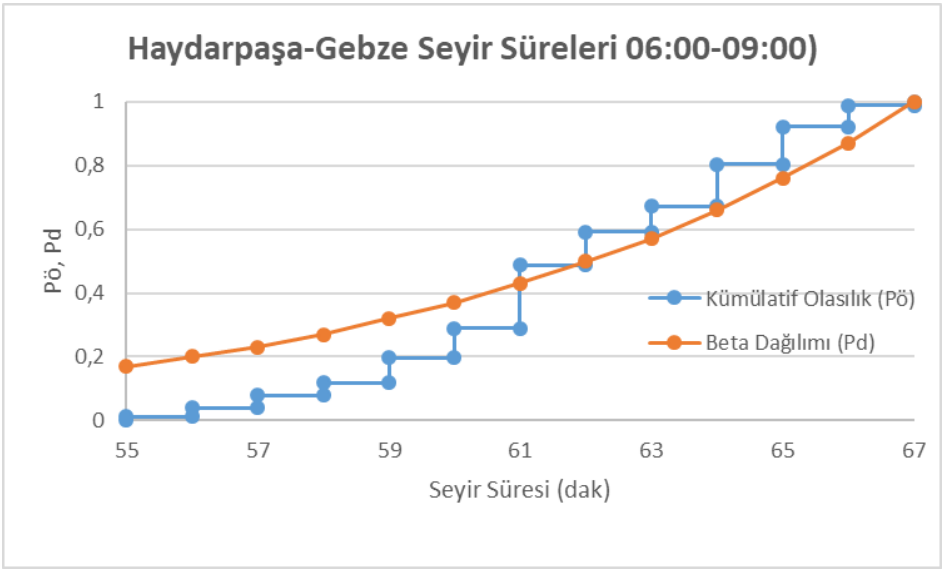


Şekil 3.27 Haydarpaşa-Gebze seyir süreleri için gama dağılımı (sabah zirvesi)

Benzer şekilde, Beta dağılımı üzerinde Kolmogorov-Smirnov testi Tablo 3.23'te ve Şekil 3.28'de gösterilmiştir. Hesaplanan en büyük mutlak değer (0,15) kritik değerden (0,16) küçük olduğu için, Haydarpaşa-Gebze sabah zirvesinde seyir süreleri beta dağılımına da uygundur.

Tablo 3.23 Beta dağılımı için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi (sabah zirvesi)

Seyahat Süresi (dak) (i)	Gerçek Örnek (ni)	Kümülatif Örnek	Kümülatif Olasılık (örnek) (Pö)	Kümülatif Olasılık (dağılım) (Pd)	IPö-Pdl
55	1	1	0,02	0,17	0,15
56	2	3	0,06	0,20	0,14
57	3	6	0,09	0,23	0,14
58	3	9	0,17	0,27	0,10
59	6	15	0,21	0,32	0,11
60	7	22	0,31	0,37	0,06
61	12	34	0,46	0,43	0,03
62	8	42	0,57	0,50	0,07
63	6	48	0,65	0,57	0,08
64	10	58	0,79	0,66	0,13
65	9	67	0,91	0,76	0,15
66	5	72	0,98	0,87	0,11
67	1	73	1	1,00	0,00

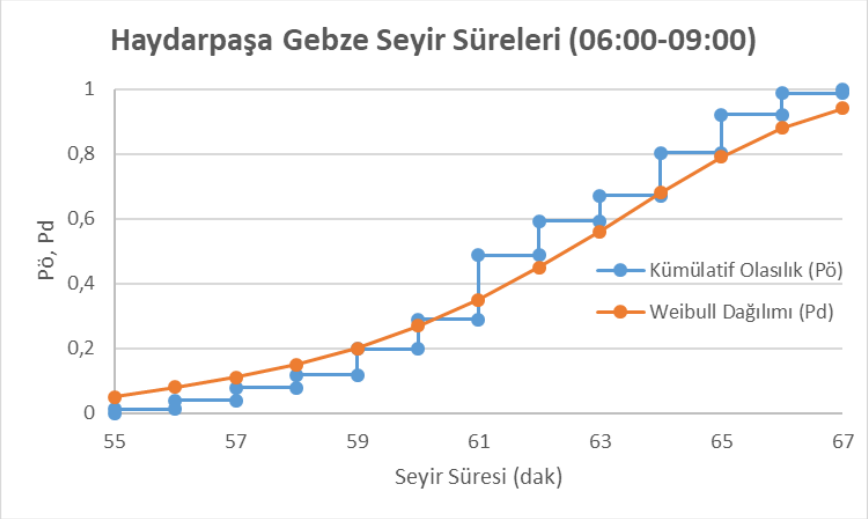


Şekil 3.28 Haydarpaşa-Gebze seyir süreleri için beta dağılımı (sabah zirvesi)

Benzer şekilde, Weibull dağılımı üzerinde Kolmogorov-Smirnov testi Tablo 3.24'te ve Şekil 3.29'da gösterilmiştir. Hesaplanan en büyük mutlak değer (0,13) kritik değerden (0,16) küçük olduğu için, Haydarpaşa-Gebze sabah zirvesinde seyir süreleri weibull dağılımına da uygundur.

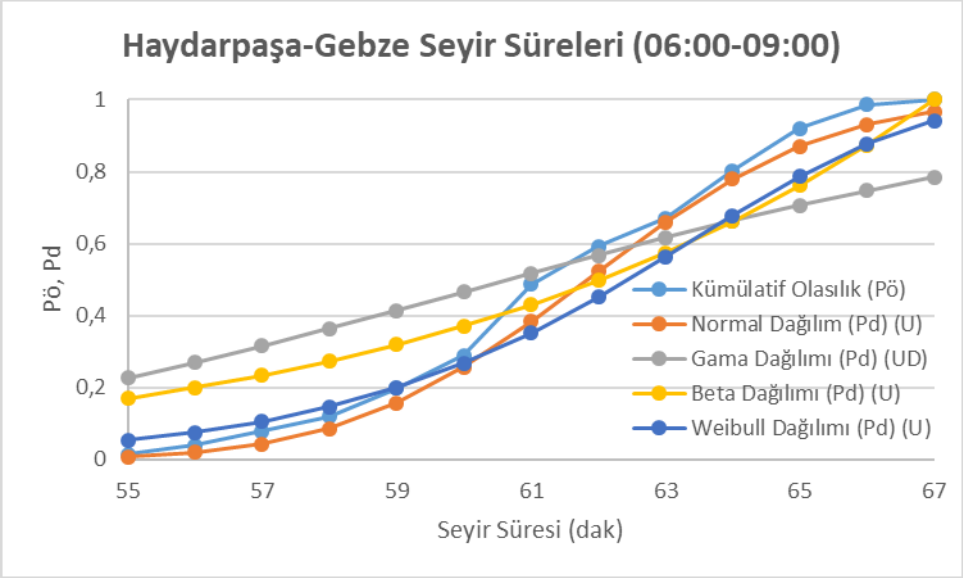
Tablo 3.24 Weibull dağılımı için Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi (sabah zirvesi)

Seyahat Süresi (dak) (i)	Gerçek Örnek (ni)	Kümülatif Örnek	Kümülatif Olasılık (örnek) (Pö)	Kümülatif Olasılık (dağılım) (Pd)	IPö-Pdl
55	1	1	0,01	0,05	0,04
56	2	3	0,04	0,08	0,04
57	3	6	0,08	0,11	0,03
58	3	9	0,12	0,15	0,03
59	6	15	0,21	0,20	0,01
60	7	22	0,3	0,27	0,03
61	12	34	0,47	0,35	0,12
62	8	42	0,58	0,45	0,13
63	6	48	0,66	0,56	0,10
64	10	58	0,79	0,68	0,11
65	9	67	0,92	0,79	0,13
66	5	72	0,99	0,88	0,11
67	1	73	1	0,94	0,06



Şekil 3.29 Haydarpaşa-Gebze seyir süreleri için weibull dağılımı (sabah zirvesi)

Kolmogorov-Smirnov uyum testi uygulanan olasılık dağılımları toplu olarak Şekil 3.30'da gösterilmiştir.



Şekil 3.30 Haydarpaşa-Gebze seyir süreleri için normal-gama-beta-weibull dağılımı (sabah zirvesi)

4
İSTATİSTİKSEL GECİKME TAHMİNİ

Bir istasyondan belirli bir gecikmeyle kalkan trenin, seyir yönünde başka bir istasyondaki varış gecikmesini tahmin etmek mümkündür. Tahmin süresinin uzunluğu arttıkça tahmin hatası da artar. Bu çalışmada yaklaşık 20 dakikalık tahmin süresi kullanılmıştır; yani, trenin kalkışından sonra yaklaşık 20'nci dakikasındaki gecikme tahmin edilmiştir. Bu sürenin seçiminde literatürde önerilen tahmin yönteminden yararlanılmıştır (Informs RAS,2018). Bu istatistiksel tahmin için, her kalkış gecikmesi sınıfına ait gözlenen varış gecikmesi verilerinin %70'i tahmin için kullanılan merkezi ölçülerin hesaplanmasında eğitim verisi olarak alınmış, geriye kalan %30 ise tahminlerin değerlendirilmesinde test verisi olarak kullanılmıştır. Varış gecikmelerini tahmin etmek için dört merkezi ölçüden yararlanılmıştır. Bunlar sırasıyla, ortalama, medyan, mod ve üçlü ortalamadır. Merkezi ölçüler aşağıda açıklanmıştır.

Ortalama hesabı Bölüm 2'de (2.1) eşitliği ile gösterilmişti.

Medyan (Q_2), kümülatif dağılım fonksiyonunun %50 olduğu gecikme değeridir. Buna göre, medyandan daha büyük ve daha küçük değerler eşit olasılıkla gerçekleşirler. Yani, $F_X(Q_2) = 0{,}50$.

Varış gecikmelerinin mod değeri, en yüksek tekrar sayısına (frekansına) karşılık gelen gecikme değeridir.

Üçlü ortalama (TM, trimean) hesabı şu şekilde yapılır:

%25 kümülatif frekans değerine karşılık gelen varış gecikmesi (Q_1) değeri bulunur, %50 kümülatif frekans değerine karşılık gelen varış gecikmesi, medyan (Q_2) değeri bulunur ve 2 ile çarpılır, %75 kümülatif frekans değerine karşılık gelen (Q_3) değeri bulunur. Bulunan bu üç değer toplanır ve 4'e bölünür. Üçlü ortalama (4.1) eşitliği yardımıyla hesaplanır.

$$TM = \frac{Q_1 + 2Q_2 + Q_3}{4} \qquad (4.1)$$

4.1 Haydarpaşa-Bostancı Gecikme Tahmini

Haydarpaşa kalkışlı olan, 116 adet sabah ve akşam zirvesi seferlerinin, Bostancı'ya vardığında ne kadar erken ya da gecikmeli varış yapacağını tahmin edelim. Haydarpaşa kalkışlı olup Bostancı varışlı olan seferlerin frekans dağılımı Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Haydarpaşa-Bostancı kalkış-varış gecikmesi frekans dağılımı (sabah ve akşam zirvesi)

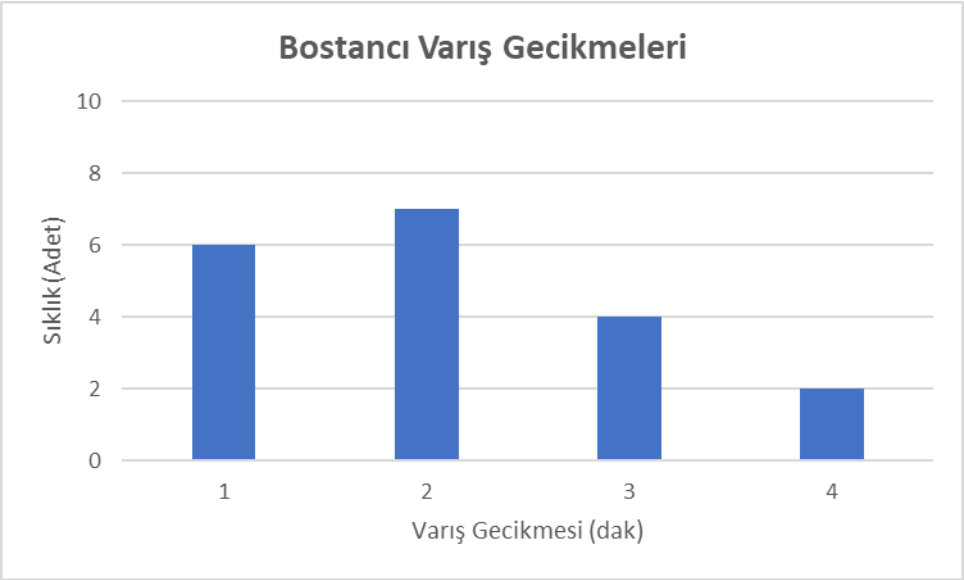
Haydarpaşa Kalkış Gecikmeleri (dak)	Bostancı Varış Gecikmeleri (dak)									
	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	Toplam
1	4		3	2	1					10
2	2	5	12	9	1			1		30
3		1	4	20	11	2				38
4				6	7	4	2			19
5					3	2	3	1	1	10
6					2			1		3
7						1		2	1	4
8								1	1	2

Gerçekleşen kalkış-varış gecikmelerinin bağıl frekans dağılımı Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 Haydarpaşa-Bostancı kalkış-varış gecikmesi bağıl frekans dağılımı (sabah ve akşam zirvesi)

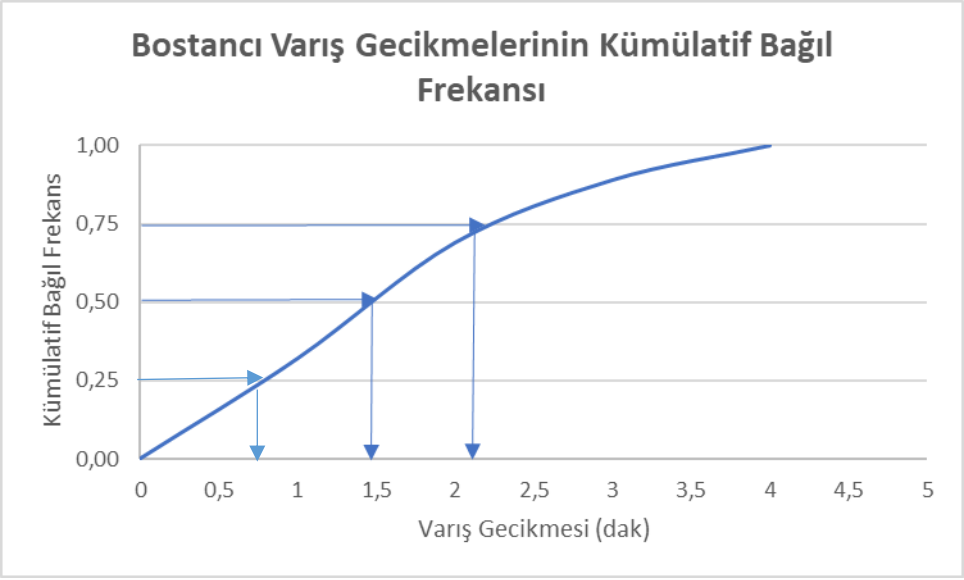
Haydarpaşa Kalkış Gecikmeleri (dak)	Bostancı Varış Gecikmeleri (dak)									
	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	Toplam
1	0,40		0,30	0,20	0,10					1
2	0,07	0,17	0,40	0,30	0,03			0,03		1
3		0,03	0,11	0,53	0,29	0,05				1
4				0,32	0,37	0,21	0,11			1
5					0,30	0,20	0,30	0,10	0,10	1
6					0,67			0,33		1
7						0,25		0,50	0,25	1
8								0,50	0,50	1

Gerçekleşen bu gecikmelerden, örnek olarak 4 dakikalık kalkış gecikmesine sahip seferleri inceleyelim. 4 dakikalık kalkış gecikmesinin frekans dağılımı (histogram), Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Haydarpaşa'dan 4 dakika gecikmeyle kalkan trenlerin Bostancı'ya varış gecikmeleri (sabah ve akşam zirvesi)

4 dakikalık kalkış gecikmesine sahip seferlerin, kümülatif bağıl frekans diyagramı Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Bostancı varış gecikmelerinin kümülatif bağıl frekans dağılımı (sabah ve akşam zirvesi)

4 dakikalık gecikmeye sahip olan bu seferlerin, merkezi ölçülerini (ortalama, medyan, mod ve üçlü ortalama) hesaplamak mümkündür.

$\mu = \frac{\sum x_i \cdot n_i}{n}$ ---------> $\frac{\sum(1x6)+(2x7)+(3x4)+(4x2)}{19}$ = 2,11 dak.

Yani, Haydarpaşa'dan 4 dakikalık gecikmeyle kalkan trenler, ortalama 2,11 dakika gecikmeyle Bostancı istasyonuna varmaktadır.

İncelenen seferlerin medyan hesabını yapabilmek için, her bir varış gecikmesinin kümülatif bağıl frekansını hesaplayıp, %50 frekans değerine karşılık gelen varış gecikmesini bulmamız gerekmektedir.

F_X (Q_2) = 0,50 için Q_2 Medyan değeri bulunur.

1 dakika varış gecikmesinin bağıl frekansı 0,32 ve 2 dakika varış gecikmesinin bağıl frekansı 0,37 olup, kümülatif bağıl frekans 0,69'dur. Yüzde 50 kümülatif bağıl frekansa (olasılığa) karşılık gelen varış gecikmesi için iterasyon yapılabilir. İterasyon sonucunda F_X (Q_2) = 0,50 için Q_2 = 1,48 dak bulunur.

Yani, Haydarpaşa'dan 4 dakika gecikmeyle kalkan trenler, 1,48 dakika medyan gecikmesiyle Bostancı istasyonuna varmaktadırlar.

4 dakikalık kalkış gecikmesinin modu, 7 frekans değerine karşılık gelen 2 dakikalık varış gecikmesidir.

Üçlü ortalama (trimean) hesabını yapalım.

TM = $\frac{Q_1+2Q_2+Q_3}{4}$ eşitliğinde, sırasıyla %25, %50 ve %75 kümülatif bağıl frekanslarına karşılık gelen varış gecikmeleri Q_1, Q_2 ve Q_3 için iterasyon yapılmalıdır.

İterasyon sonucunda, Q_1 = 0,78 dak, Q_2 = 1,48 dak, Q_3 = 2,28 dak bulunur. Buna göre,

TM = $\frac{0,78+(2x1,48)+2,28}{4}$ = 1,50 dak

Haydarpaşa'dan her bir kalkış gecikmesi için Bostancı istasyonundaki varış gecikmelerinin merkezi ölçüleri (ortalama, medyan, mod ve üçlü ortalama) hesaplanır. Hesaplanan merkezi ölçüler Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3 Haydarpaşa kalkış gecikmelerine göre Bostancı varış gecikmelerinin tahmin ve gözlenen değerleri (sabah ve akşam zirvesi)

Haydarpaşa Kalkış Gecikmesi	Bostancı Varış Gecikmelerinin Merkezi Ölçüleri (Eğitme Verileri)				Bostancı'da Gözlenen Varış Gecikmesi (Test Verileri)
	Ortalama	Medyan	Mod	Üçlü Ortalama	
2	0,23	-0,35	0,00	-0,33	1
4	2,11	1,48	2,00	1,50	3
2	0,23	-0,35	0,00	-0,33	-1
1	-0,40	-1,33	-2,00	-1,20	-1
2	0,23	-0,35	0,00	-0,33	1
3	1,24	0,68	1,00	0,71	2
3	1,24	0,68	1,00	0,71	1
3	1,24	0,68	1,00	0,71	1
3	1,24	0,68	1,00	0,71	2
3	1,24	0,68	1,00	0,71	2
5	3,50	3,00	2,00	2,87	2
3	1,24	0,68	1,00	0,71	1
3	1,24	0,68	1,00	0,71	1
4	2,11	1,48	2,00	1,50	2
5	3,50	3,00	2,00	2,87	2
2	0,23	-0,35	0,00	-0,33	-1
7	4,75	4,00	5,00	4,00	4
2	0,23	-0,35	0,00	-0,33	0
4	2,11	1,48	2,00	1,50	2
4	2,11	1,48	2,00	1,50	1
2	0,23	-0,35	0,00	-0,33	0
3	1,24	0,68	1,00	0,71	1
3	1,24	0,68	1,00	0,71	1
4	2,11	1,48	2,00	1,50	3
6	3,00	1,49	2,00	1,52	2
5	3,50	3,00	2,00	2,87	2
6	3,00	1,49	2,00	1,52	2
2	0,23	-0,35	0,00	-0,33	2
3	1,24	0,68	1,00	0,71	1
2	0,23	-0,35	0,00	-0,33	1
4	2,11	1,48	2,00	1,50	3
3	1,24	0,68	1,00	0,71	2
3	1,24	0,68	1,00	0,71	1
3	1,24	0,68	1,00	0,71	2
3	1,24	0,68	1,00	0,71	2
2	0,23	-0,35	0,00	-0,33	1
2	0,23	-0,35	0,00	-0,33	0
3	1,24	0,68	1,00	0,71	1
4	2,11	1,48	2,00	1,50	4
3	1,24	0,68	1,00	0,71	1
4	2,11	1,48	2,00	1,50	1
1	-0,40	-1,33	-2,00	-1,20	1
2	0,23	-0,35	0,00	-0,33	2
2	0,23	-0,35	0,00	-0,33	1
3	1,24	0,68	1,00	0,71	3
3	1,24	0,68	1,00	0,71	4
4	2,11	1,48	2,00	1,50	4
3	1,24	0,68	1,00	0,71	3
3	1,24	0,68	1,00	0,71	4
3	1,24	0,68	1,00	0,71	3

Bostancı istasyonunda gözlenen varış gecikmeleriyle, varışların tahmin edilen merkezi ölçüleri arasındaki hataların ortalaması, Hataların Karesel Ortalamasının Karekökü (RMSE, Root Mean Square Error), (4.2) eşitliği yardımıyla bulunur (Khodayari ve diğ., 2012).

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \hat{x}_i)^2} \qquad (4.2)$$

Burada,

x_i : Gerçek varış gecikmesi

$\hat{x}_i$: Tahmin edilen varış gecikmesi

N: Gözlem sayısı

Tablo 4.3'teki ilk üç gecikme satırı için RMSE ifadesinin uygulaması aşağıda gösterilmiştir.

Ortalama RMSE= $\sqrt{\frac{1}{50}\sum_{i=1}^{N50}(1-0{,}23)^2 + (3-2{,}11)^2 + (-1-0{,}23)^2 + \cdots}$ =1,14 dak

Varış gecikmelerinin merkezi değerleri için hesaplanan RMSE'ler Tablo 4.4'te gösterilmiştir.

Tablo 4.4 Bostancı varış gecikmeleri için hesaplanan RMSE (sabah ve akşam zirvesi)

Ortalama	Medyan	Mod	Üçlü Ortalama
1,14	1,42	1,22	1,39

Hesaplanan RMSE değerlerinden ortalamaya göre belirlenen varış gecikmelerinin en küçük hata (1,14 dak) verdiği görülmektedir. Buna göre, gecikme tahmini için ortalama değer kullanılabilir.

4.2 Bostancı-Pendik Gecikme Tahmini

Bostancı kalkışlı olan, 117 adet sabah ve akşam zirvesi seferlerinin, Pendik'e vardığında ne kadar erken ya da gecikmeli varış yapacağını tahmin edelim. Bostancı kalkışlı olup Pendik varışlı olan seferlerin frekans dağılımı Tablo 4.5'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5 Bostancı-Pendik kalkış-varış gecikmesi frekans dağılımı (sabah ve akşam zirvesi)

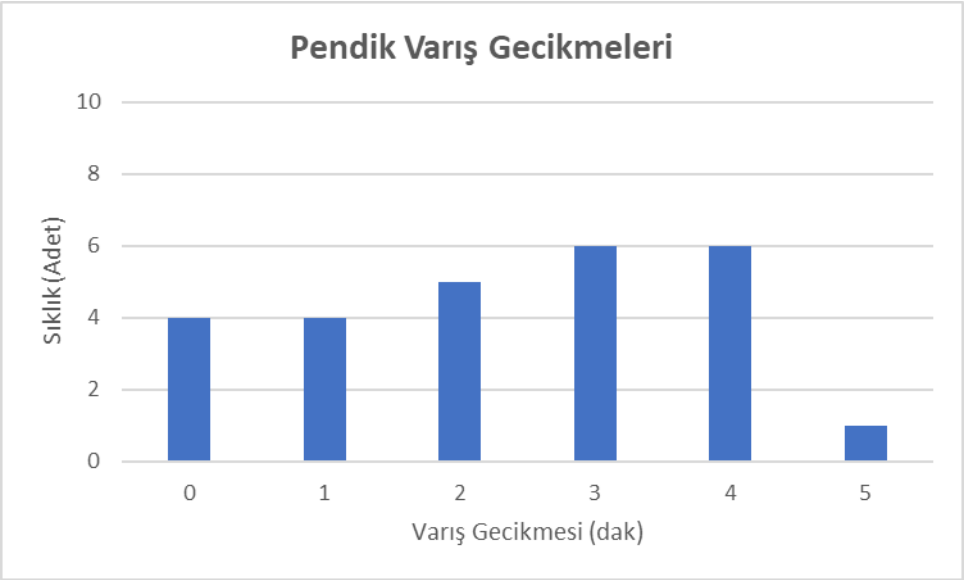
Bostancı Kalkış Gecikmeleri (dak)	Pendik Varış Gecikmeleri (dak)													
	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Toplam
-4			1											1
-3				1										1
-2		1	4	1										6
-1	1	1		3	1	1								7
0			2	8	4	3	1							18
1				5	9	6	7	6	1	1	1		1	37
2					4	4	5	6	6	1				26
3							2	1	2	3				8
4								1	2	1				4
5									3	2	1			6
6										1	1	1		3

Gerçekleşen kalkış-varış gecikmelerinin bağıl frekans dağılımı Tablo 4.6'da gösterilmiştir.

Tablo 4.6 Bostancı-Pendik kalkış-varış gecikmesi bağıl frekans dağılımı (sabah ve akşam zirvesi)

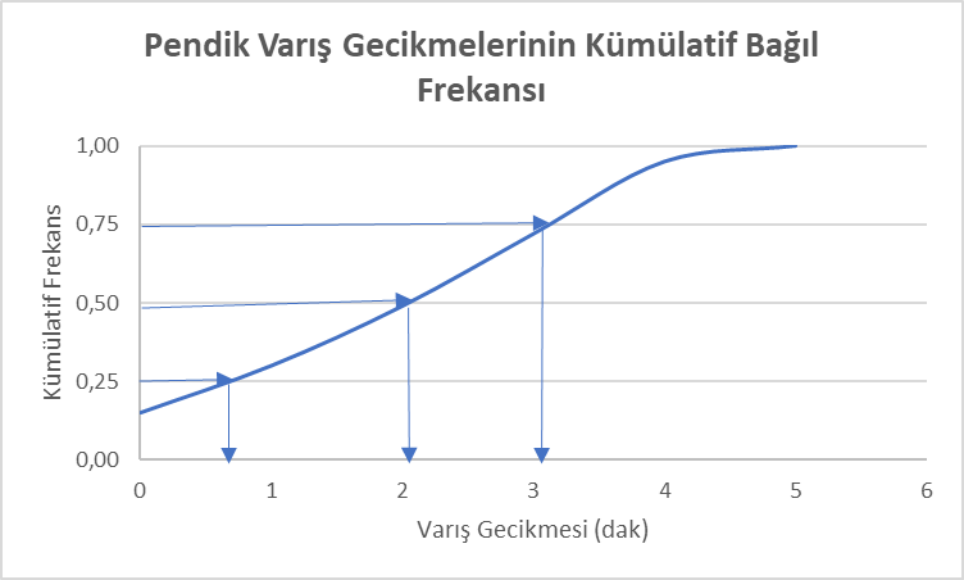
Bostancı Kalkış Gecikmeleri (dak)	Pendik Varış Gecikmeleri (dak)													
	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Toplam
-4			1,00											1
-3				1,00										1
-2		0,17	0,67	0,17										1
-1	0,14	0,14		0,43	0,14	0,14								1
0			0,11	0,44	0,22	0,17	0,06							1
1				0,14	0,24	0,16	0,19	0,16	0,03	0,03	0,03		0,03	1
2					0,15	0,15	0,19	0,23	0,23	0,04				1
3							0,25	0,13	0,25	0,38				1
4								0,25	0,50	0,25				1
5									0,50	0,33	0,17			1
6										0,33	0,33	0,33		1

Gerçekleşen bu gecikmelerden, örnek olarak 2 dakikalık kalkış gecikmesine sahip seferleri inceleyelim. 2 dakikalık kalkış gecikmesinin frekans dağılımı (histogram), Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Bostancı'dan 2 dakika gecikmeyle kalkan trenlerin Pendik'e varış gecikmeleri (sabah ve akşam zirvesi)

2 dakikalık kalkış gecikmesine sahip seferlerin, kümülatif bağıl frekans diyagramı Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Pendik varış gecikmelerinin kümülatif bağıl frekans dağılımı (sabah ve akşam zirvesi)

Bostancı'dan her bir kalkış gecikmesi için Pendik istasyonundaki varış gecikmelerinin merkezi ölçüleri (ortalama, medyan, mod ve üçlü ortalama) hesaplanır. Hesaplanan merkezi ölçüler Tablo 4.7'de gösterilmiştir.

Tablo 4.7 Bostancı kalkış gecikmelerine göre Pendik varış gecikmelerinin tahmin ve gözlenen değerleri (sabah ve akşam zirvesi)

Bostancı Kalkış Gecikmesi	Pendik Varış Gecikmelerinin Merkezi Ölçüleri (Eğitme Verileri)				Pendik'te Gözlenen Varış Gecikmesi (Test Verileri)
	Ortalama	Medyan	Mod	Üçlü Ortalama	
1	1,51	0,8	0	0,79	-1
3	3,75	3,48	5	3,32	2
-1	-1,28	-1,98	-1	-1,96	-3
-1	-1,28	-1,98	-1	-1,96	-2
1	1,51	0,8	0	0,79	0
2	2,35	2	3	1,95	2
1	1,51	0,8	0	0,79	2
1	1,51	0,8	0	0,79	0
2	2,35	2	3	1,95	3
2	2,35	2	3	1,95	4
2	2,35	2	3	1,95	1
1	1,51	0,8	0	0,79	-1
-1	-1,28	-1,98	-1	-1,96	-2
-2	-2	-2,5	-2	-2,5	-4
-2	-2	-2,5	-2	-2,5	-1
-1	-1,28	-1,98	-1	-1,96	-4
4	4	4,25	3,5	4	3
0	-0,39	-1,11	-1	-1	1
2	2,35	2	3	1,95	4
1	1,51	0,8	0	0,79	0
0	-0,39	-1,11	-1	-1	2
1	1,51	0,8	0	0,79	3
1	1,51	0,8	0	0,79	1
3	3,75	3,48	5	3,32	3
2	2,35	2	3	1,95	2
2	2,35	2	3	1,95	3
2	2,35	2	3	1,95	0
2	2,35	2	3	1,95	5
1	1,51	0,8	0	0,79	1
1	1,51	0,8	0	0,79	1
3	3,75	3,48	5	3,32	4
2	2,35	2	3	1,95	3
1	1,51	0,8	0	0,79	1
2	2,35	2	3	1,95	3
2	2,35	2	3	1,95	5
1	1,51	0,8	0	0,79	4
0	-0,39	-1,11	-1	-1	3
0	-0,39	-1,11	-1	-1	3
1	1,51	0,8	0	0,79	2
4	4	4,25	3,5	4	6
1	1,51	0,8	0	0,79	1
1	1,51	0,8	0	0,79	2
2	2,35	2	3	1,95	2
1	1,51	0,8	0	0,79	1
3	3,75	3,48	5	3,32	7
4	4	4,25	3,5	4	4
4	4	4,25	3,5	4	4
3	3,75	3,48	5	3,32	7
4	4	4,25	3,5	4	5
3	3,75	3,48	5	3,32	5

Pendik istasyonunda gözlenen varış gecikmeleriyle, varışların tahmin edilen merkezi ölçüleri arasındaki hataların ortalaması, Hataların Karesel Ortalamasının Karekökü (RMSE, Root Mean Square Error) hesaplanır. Varış gecikmelerinin merkezi değerleri için hesaplanan RMSE'ler Tablo 4.8'de gösterilmiştir.

Tablo 4.8 Pendik varış gecikmeleri için hesaplanan RMSE (sabah ve akşam zirvesi)

Ortalama	Medyan	Mod	Üçlü Ortalama
1,66	1,76	1,83	1,77

Hesaplanan RMSE değerlerinden ortalamaya göre belirlenen varış gecikmelerinin en küçük hata (1,66 dak) verdiği görülmektedir. Buna göre, gecikme tahmini için ortalama değer kullanılabilir.

4.3 Pendik-Gebze Gecikme Tahmini

Pendik kalkışlı olan, 103 adet sabah ve akşam zirvesi seferlerinin, Gebze'ye vardığında ne kadar erken ya da gecikmeli varış yapacağını tahmin edelim. Pendik kalkışlı olup Gebze varışlı olan seferlerin frekans dağılımı Tablo 4.9'da gösterilmiştir.

Tablo 4.9 Pendik-Gebze kalkış-varış gecikmesi frekans dağılımı (sabah ve akşam zirvesi)

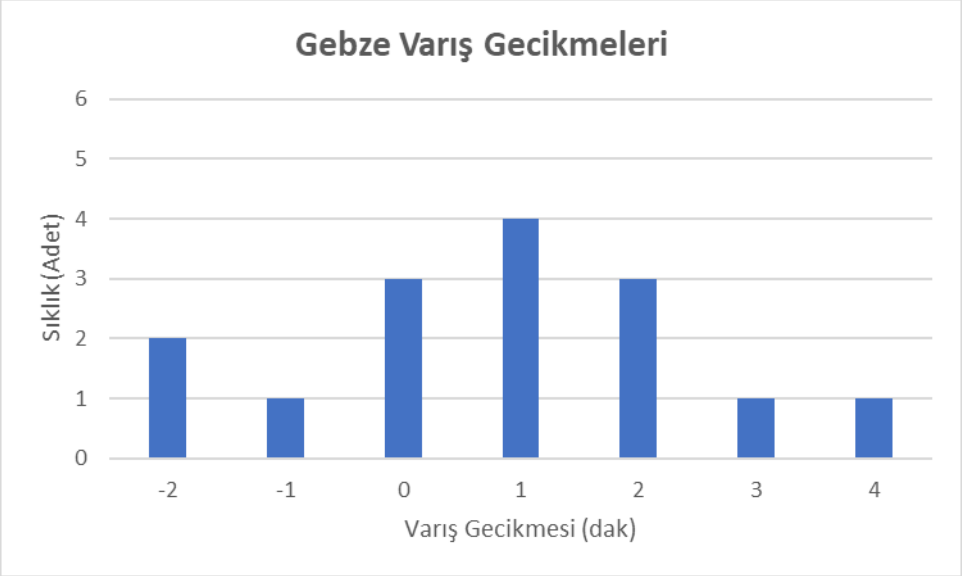
Pendik Kalkış Gecikmeleri (dak)	Gebze Varış Gecikmeleri (dak)													
	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	Toplam
-4	1													1
-3		1	1											2
-2	1		2	3	1									7
-1		2	2	6	2	2	1							15
0			1	5	4	2	2	3						17
1				2	1	3	4	3	1	1				15
2					1	2	5	5					1	14
3			1			1	2		6					10
4							3		4	4	1			12
5								2	2	1	1	1		7
6										1		2		3

Gerçekleşen kalkış-varış gecikmelerinin bağıl frekans dağılımı Tablo 4.10'da gösterilmiştir.

Tablo 4.10 Pendik-Gebze kalkış-varış gecikmesi bağıl frekans dağılımı (sabah ve akşam zirvesi)

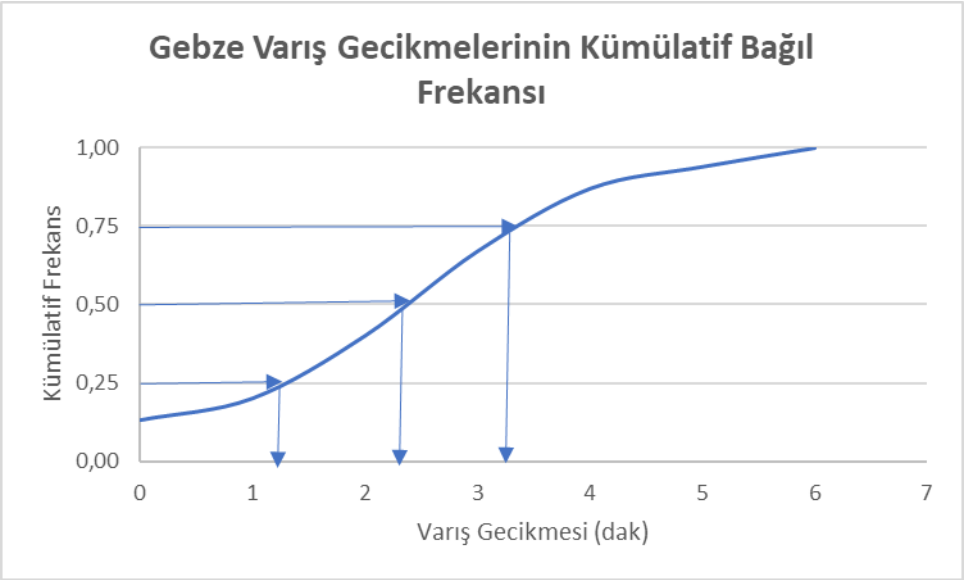
Pendik Kalkış Gecikmeleri (dak)	Gebze Varış Gecikmeleri (dak)													
	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	Toplam
-4	1,00													1
-3		0,50	0,50											1
-2	0,14		0,29	0,43	0,14									1
-1		0,13	0,13	0,40	0,13	0,13	0,07							1
0			0,06	0,29	0,24	0,12	0,12	0,18						1
1				0,13	0,07	0,20	0,27	0,20	0,07	0,07				1
2					0,07	0,14	0,36	0,36					0,07	1
3			0,10			0,10	0,20		0,60					1
4							0,25		0,33	0,33	0,08			1
5								0,29	0,29	0,14	0,14	0,14		1
6										0,33		0,67		1

Gerçekleşen bu gecikmelerden, örnek olarak 1 dakikalık kalkış gecikmesine sahip seferleri inceleyelim. 1 dakikalık kalkış gecikmesinin frekans dağılımı (histogram), Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Pendik'ten 1 dakika gecikmeyle kalkan trenlerin Gebze'ye varış gecikmeleri (sabah ve akşam zirvesi)

1 dakikalık kalkış gecikmesine sahip seferlerin, kümülatif bağıl frekans diyagramı Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Gebze varış gecikmelerinin kümülatif bağıl frekans dağılımı (sabah ve akşam zirvesi)

Pendik'ten her bir kalkış gecikmesi için Gebze istasyonundaki varış gecikmelerinin merkezi ölçüleri (ortalama, medyan, mod ve üçlü ortalama) hesaplanır. Hesaplanan merkezi ölçüler Tablo 4.11'de gösterilmiştir.

Tablo 4.11 Pendik kalkış gecikmelerine göre Gebze varış gecikmelerinin tahmin ve gözlenen değerleri (sabah ve akşam zirvesi)

Pendik Kalkış Gecikmesi	Gebze Varış Gecikmelerinin Merkezi Ölçüleri (Eğitme Verileri)				Gebze'de Gözlenen Varış Gecikmesi (Test Verileri)
	Ortalama	Medyan	Mod	Üçlü Ortalama	
-1	-1,8	-2,4	-2	-2,3	-3
2	1,5	1,13	1	0,95	0
-3	-3,5	-4	-4	-4	1
-2	-2,57	-2,83	-2	-3,61	1
0	-0,53	-1,38	-2	-1,19	-2
2	1,5	1,13	1	0,95	0
2	1,5	1,13	1	0,95	1
0	-0,53	-1,38	-2	-1,19	0
3	1,7	1,33	3	1,27	0
4	3	2,51	3	2,38	3
1	0,73	0,37	1	0,35	-1
-1	-1,8	-2,4	-2	-2,3	-2
-2	-2,57	-2,83	-2	-3,61	-2
-4	-5	-5	-5	-5	-3
-1	-1,8	-2,4	-2	-2,3	1
-4	-5	-5	-5	-5	-8
3	1,7	1,33	3	1,27	1
1	0,73	0,37	1	0,35	-1
4	3	2,51	3	2,38	3
0	-0,53	-1,38	-2	-1,19	-2
2	1,5	1,13	1	0,95	2
3	1,7	1,33	3	1,27	1
1	0,73	0,37	1	0,35	-2
3	1,7	1,33	3	1,27	-1
2	1,5	1,13	1	0,95	0
3	1,7	1,33	3	1,27	1
0	-0,53	-1,38	-2	-1,19	-1
5	3,57	2,72	2	2,88	6
1	0,73	0,37	1	0,35	-1
1	0,73	0,37	1	0,35	-2
4	3	2,51	3	2,38	4
3	1,7	1,33	3	1,27	1
1	0,73	0,37	1	0,35	-1
3	1,7	1,33	3	1,27	3
5	3,57	2,72	2	2,88	5
4	3	2,51	3	2,38	4
3	1,7	1,33	3	1,27	2
3	1,7	1,33	3	1,27	4
2	1,5	1,13	1	0,95	0
6	3,76	4,51	6	4,51	4
1	0,73	0,37	1	0,35	1
2	1,5	1,13	1	0,95	1
2	1,5	1,13	1	0,95	3
1	0,73	0,37	1	0,35	1
4	3	2,51	3	2,38	5
4	3	2,51	3	2,38	4

Gebze istasyonunda gözlenen varış gecikmeleriyle, varışların tahmin edilen merkezi ölçüleri arasındaki hataların ortalaması, Hataların Karesel Ortalamasının Karekökü (RMSE, Root Mean Square Error) hesaplanır. Varış gecikmelerinin merkezi değerleri için hesaplanan RMSE'ler Tablo 4.12'de gösterilmiştir.

Tablo 4.12 Gebze varış gecikmeleri için hesaplanan RMSE (sabah ve akşam zirvesi)

Ortalama	Medyan	Mod	Üçlü Ortalama
1,70	1,77	2,00	1,82

Hesaplanan RMSE değerlerinden ortalamaya göre belirlenen varış gecikmelerinin en küçük hata (1,70 dak) verdiği görülmektedir. Buna göre, gecikme tahmini için ortalama değer kullanılabilir.

5
Sonuç ve Öneriler

Marmaray'dan önce İstanbul'un Anadolu yakasında Haydarpaşa-Gebze arasındaki çift hatlı demiryolunda banliyö trenleri hizmet vermekteydi. Kenti Anadolu'ya bağlayan bu demiryolu hattını şehirlerarası yolcu ve yük trenleri de kullanmaktaydı. Bu araştırma ve incelemede, 1-10 Haziran 2005 tarihleri arasında, 06:00-09:00, 17:00-20:00 zirve saatlerde çift hatlı olarak işletilen banliyö trenlerinin işletim başarımına (performansına) ilişkin incelemeler yapılmıştır. Bu kesimdeki banliyö trenleri tarifeli olarak orer zamanlarına bağlı kalınarak işletilmekteydi.

Haydarpaşa-Gebze banliyö hattındaki sabah ve akşam zirvesi seferlerinin, ilk istasyonlardan kalkış gecikmeleri, gecikmeli kalkış durumunda ilerleyen istasyonlarda bu gecikmenin telafi edilip edilmediği, toplam seyahat süresi gibi büyüklükler istatistiksel olarak incelenmiş, bu büyüklüklerin dağılımları elde edilmiştir. Gecikme ve seyir sürelerinin belirli olasılık dağılımlara uyup uymadığı, ki-kare ve Kolmogorov-Smirnov uyum testleriyle sınanmış, uygun ve uygun olmayan dağılımlara ilişkin testler yapılmıştır. Bu analizlere ek olarak, belirli bir istasyondan belirli bir gecikmeyle kalkan bir trenin istatistiksel olarak (yaklaşık 20 dakika uzaklıktaki) sonraki bir istasyona ne kadarlık bir gecikmeyle varmasının beklendiğine ilişkin tahminler de yapılmıştır.

Haydarpaşa istasyonundan sabah ve akşam zirvesinde kalkan trenlerin genelde geç kalkış yaptığı görülmüş (3 dak), son istasyon olan Gebze istasyonunda ise trenlerin 9 dakika erken varıştan 19 dakika geç varışa kadar büyük bir değişkenlik göstermiş ve bunun da değişkenlik katsayısına (%502) yansıdığı görülmüştür. Gebze istasyonuna varışların ortalaması alındığında, trenlerin geç kalkmasına rağmen bunu ilerleyen istasyonlarda telafi edip, Gebze istasyonuna sırasıyla sabah ve akşam zirve saatlerde erken vardığı (-0,59 dak, -1,45 dak) tespit edilmiştir.

Gebze istasyonundan kalkışlı olup, Haydarpaşa istasyonuna varışlı olan sabah ve akşam zirvesi seferlerinde de kalkış gecikmeleri büyük oranda gecikmeli (1,70 dak) başlamıştır. Seferlerin son istasyon olan Haydarpaşa istasyonuna varış

gecikmelerinin ortalaması alındığında, sabah zirvesinin erken varışla sonuçlandığı (-0,69 dak), akşam zirvesinde ise gecikmeli varışla (2,39 dak) sonuçlandığı görülmüştür. Toplam seyir süresinde ise her iki yön, sabah ve akşam zirvesi olmak üzere seferler 55 dakikadan 79 dakikaya kadar uç değerler almıştır fakat bu uç seferler çok az sayıda olduğundan değişkenlik katsayısı %5 gibi küçük değerlerde kalmıştır.

Her iki yön hem sabah hem akşam zirvesinde seferlerin geç başlamış olmasına rağmen gecikmeli kalkışların ara istasyonlarda telafi edildiği ve trenlerin seferlerini planlanan zamandan (65 dak) daha kısa sürede (ortalama 61 dak) tamamladığı görülmüştür. Sürücü davranışı bakımından, seferlerin planlanandan hızlı olduğu tespit edilmiştir. Bu da çizelgedeki zaman gevşekliğinin bolluğunu göstermektedir. Çizelge, zaman gevşekliğinin bolluğu bakımından incelenmelidir.

Ara istasyonlardaki kalkış-varış gecikmeleri ve sefer süreleri incelendiğinde hem erken kalkış hem geç kalkış olması bakımından orerden büyük oranda sapmaların olduğu tespit edilmiştir. Erken kalkışlarda yolcuların seferi kaçırma ihtimali olacaktır. Geç varışlarda ise özellikle aktarma yapacak yolcular problem yaşayacaktır. Bu bakımdan çizelgeye uyulması önem arz etmektedir.

Kalkış gecikmelerinin ve toplam seyahat sürelerinin dağılımlara uygunluğunun test edilmesinde görülmüştür ki, hareketler belirli dağılımlara uygun rastlantısaldır. Bu da bize kalkış gecikmelerinin, toplam seyahat süresinin belirli algoritmalara uyumlu olabileceğini, çeşitli simülasyon modelleri oluşturulabileceğini göstermiştir.

Trenlerin ne kadar erken ya da gecikmeli varışlara sahip olacağının tahminlerinde incelenen üç istasyon çiftinde de (Haydarpaşa-Bostancı, Bostancı-Pendik, Pendik-Gebze) merkezi ölçülerden, ortalama gecikme sürelerinin; medyan, mod ve üçlü ortalamaya göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Tüm bu incelemeler sonucunda, ara istasyonlarda erken varışların, erken kalkışa sebep olduğu ve yolcuların treni kaçırma ihtimalini doğurduğunu, geç kalkış ve geç varışların ise aktarma yapacak yolcular için problem teşkil edeceği saptanmıştır. Bu bakımdan ister erken ister geç kalkış-varışlar olsun, çizelgeye uygunluk önem arz etmektedir.

Tren işletimine yönelik yapılan istatistiksel analiz ve tahminler, orere bağlı olsa da tren hareketlerindeki değişkenliği gözler önüne sermektedir. Sunulan tren hizmetlerinin hem yolcular hem de işletmeciler için yeterli olabilmesi, bu değişkenliklerin kontrol altında tutulmasına bağlıdır. Demiryolu işletmeleri, bu nedenle, tren işletimine ilişkin verileri düzenli olarak saklamalı ve analiz etmelidir. Bu veriler, çeşitli işletim senaryolarını test etmek için geliştirilebilecek simülasyon yazılımları için ana girdileri oluşturmaktadır. Bu çalışmada, bu tür ileri düzeydeki araştırmalar için bir altlık oluşturulmaya çalışılmış, incelemeler istatistiksel tekniklerle desteklenmiştir.

Bu çalışmada 2005 yılına ait trengraf verileri kullanılmıştır. Bu veriler görece eski olmakla birlikte kullanılan istatistiksel tekniklerin çalışılabilmesi için yeterli olmuştur. Raylı sistem yönetimlerinin tren işletim verilerini paylaşma konusunda istekli olmaları, kendi işletmelerine yönelik çeşitli sorunların saptanması ve bu sorunlara yönelik öneriler geliştirilebilmesi bakımından araştırmacılara çeşitli olanaklar sağlamaktadır.

Haydarpaşa-Gebze banliyö hattı gibi kentiçi raylı sistemlerin bilgisayar ortamında işletim analizi simülasyon tekniği kullanarak yapılabilir. Bu amaçla geliştirilebilecek Monte Carlo simülasyon modeli, işletim verimliliği ve hizmet kalitesinin analizi için kullanılabilir. Tez kapsamında elde edilen olasılık dağılım modelleri Monte Carlo simülasyon modelinin girdilerini oluşturabilir.

Kaynakça

Ang, A. H. S. and Tang, W. H. (2007). Probability Concepts in *Engineering, Emphasis on Applications to Civil and Environmental Engineering* (2nd Edition), United States of America, John Wiley and Sons, Inc.

Cerreto, F., Nielsen, O. A., Harrod, S., & Nielsen, B. F. (2016). Causal Analysis of Railway Running Delays. Paper presented at *11th World Congress on Railway Research (WCRR 2016),* Milan, Italy.

Cerreto, F., Nielsen, B. F., Nielsen, O. A., ve Harrod, S. S. (2018). Application of Data Clustering to Railway Delay Pattern Recognition. Hindawi *Journal of Advanced Transportation, Volume 2018*, Article ID 6164534, 18 pages https://doi.org/10.1155/2018/6164534.

Corman, F., & Kecman, P. (2018). Stochastic prediction of train delays in real-time using Bayesian networks. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 95*, 599-615.

Dingler, M. Koenig, A., Sogin, S. ve Barkan, C. P. L. (2010). Determining the Causes of Train Delay. Proceedings of the 2010 *AREMA Annual Conference*, 29 August-1 September, USA.

Gorman, M. F. (2009). Statistical estimation of railroad congestion delay. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *45*(3), 446-456.

Goverde, R. M., & Hansen, I. A. (2013). Performance indicators for railway timetables. In *2013 IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation Proceedings* (pp. 301-306). IEEE.

Hansen, I. A., Goverde, R. M., & van der Meer, D. J. (2010). Online train delay recognition and running time prediction. In *13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems* (pp. 1783-1788). IEEE.

Informs RAS (2018). https://connect.informs.org/railway-applications/new-item3/problem-solving-competition681/new-item12

Khodayari, A., Ghaffari, A., Kazemi, R., & Braunstingl, R. (2012). A modified car-following model based on a neural network model of the human driver effects. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, 42*(6), 1440-1449.

Landex, A. (2009). Gis analyses of railroad capacity and delays. In *Proceedings of ESRI User Conference. San Diego, California, USA* (pp. 1-10).

Law, A. M. and Kelton, W. D. (2000). *Simulation Modeling and Analysis* (Third Edition), Singapore, McGraw-Hill Companies, Inc.

Mattson, L. G. (2004). Train service reliability A survey of methods for deriving relationships for train delays. *Written at the request of the Swedish Institute for Transport and Communications Analysis*.

Mattsson, L. G. (2007). Railway capacity and train delay relationships. In *Critical Infrastructure* (pp. 129-150). Springer, Berlin, Heidelberg.

Olgay, İ., Suvar U., Aksoy B., Artan M. Ş. ve Şahin İ. (2019). Kentiçi Raylı Sistemlerde Tren İşletimi Analizi. *13. Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı*, sayfa 27-36, 10-12 Ekim, 2019, Erzurum, Türkiye.

Olsson, N. O., & Haugland, H. (2004). Influencing factors on train punctuality—results from some Norwegian studies. *Transport Policy, 11*(4), 387-397. doi:10.1016/j.tranpol.2004.07.001

Schittenhelm, B. (2011). Planning with timetable supplements in railway timetables. In *Proceedings from the Annual Transport Conference at Aalborg University* (pp. 1-18). Aalborg University Aalborg.

Şahin, İ. ve Zırhlı, S. (2006). Tren İşletiminde İstatistiksel Analizler. *Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi*, ACE2006, 11-13 Ekim, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Yuan, J. (2006). *Stochastic modelling of train delays and delay propagation in stations* (Vol. 2006). Eburon Uitgeverij BV.

Yuan, J., Goverde, R. M. P. ve Hansen, I. A. (2006). Evaluating Stochastic Train Process Time Distribution Models on the Basis of Empirical Detection Data. *WIT Transactions on The Built Environment*, Vol 88, pp. 631-640.

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi: umtsuvar@hotmail.com

Konferans Bildirileri

1. Olgay, İ., Suvar U., Aksoy B., Artan M. Ş. ve Şahin İ. (2019). Kentiçi Raylı Sistemlerde Tren İşletimi Analizi. *13. Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı*, sayfa 27-36, 10-12 Ekim, 2019, Erzurum, Türkiye.