T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜRÜYEN MERDİVENLERİN YÜKLEME DURUMLARINA GÖRE SINIFLANDIRILMASI

KENAN YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONSTRÜKSİYON PROGRAMI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. AHMET SAĞIRLI

İSTANBUL, 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜRÜYEN MERDİVENLERİN YÜKLEME DURUMLARINA GÖRE SINIFLANDIRILMASI

Kenan YILDIZ tarafından hazırlanan tez çalışması 02.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ahmet SAĞIRLI

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Ahmet SAĞIRLI

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Ferhat DİKMEN

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Serpil KURT

İstanbul Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Yürüyen merdivenler, yolcuların düşey olarak taşınmasını sağlayan ve kısa mesafeler için asansörlere alternatif olmuş önemli araçlardır. Özellikle alışveriş merkezleri, metro istasyonları, havaalanları, stadyumlar gibi insanların yoğun olarak bulunduğu yapılarda insan sirkülasyonunu rahatlatan ve süre kazandıran ekipmanlardır.

Yürüyen merdivenler üreticiler tarafından "Ticari Tip" ve "Ağır Hizmet Tipi" olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Metro gibi ulaşım sistemlerinde, bulunduğu yapının yolcu yoğunluğundan bağımsız olarak ağır hizmet tipi tercih edilmektedir. Bu çalışmada metro istasyonlarında kullanılan yürüyen merdivenler, gün içindeki yolcu yoğunluğu açısından incelenmiş ve maruz kaldıkları yükleme durumuna göre sınıflandırılarak tasarım aşamasında kullanılabilecek katsayılar belirlenmiştir. Böylece yapının öngörülen yolcu yoğunluğuna bağlı olarak gereksiz aşırı tasarımın önüne geçilerek, maliyet açısından tasarruf sağlanması hedeflenmiştir.

Tez çalışmam boyunca bana yol gösteren ve her aşamada yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Ahmet SAĞIRLI'ya, maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan Aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs, 2019

Kenan YILDIZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vi

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

ÇİZELGE LİSTESİ xi

ÖZET xii

ABSTRACT xiv

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 2
1.3 Hipotez 3

BÖLÜM 2

YÜRÜYEN MERDİVENLER 4

2.1 Tarihsel Gelişim 4
2.2 Yürüyen Merdivenlerin Çalışma Prensibi 8
2.3 Yürüyen Merdiven Konstrüksiyonu ve Alt Ekipmanları 9
2.3.1 Çelik Karkas Yapısı 10
2.3.2 Üst Çalışma Kuyusu 11
2.3.2.1 Motor 13
2.3.2.2 Ana Tahrik Şaftı 14
2.3.2.3 Servis Freni 14
2.3.2.4 Yardımcı Fren (Mekanik Fren) 15
2.3.2.5 Yağlama Ünitesi 16
2.3.2.6 Kontrol Panosu ve İnvertör (Gerilim Frekans Dönüştürücü) 17
2.3.3 Basamaklar 17
2.3.4 Basamak Zinciri 18

2.3.5 Elbandı Mekanizması 19
2.3.6 Kılavuz Raylar 20
2.3.7 Alt Çalışma Kuyusu 21
2.3.8 Korkuluk ve Etek Sacları 21

BÖLÜM 3

STANDARTLAR 23

3.1 EN 115 Standardı 25
3.2 ASME A17 Standardı 29
3.3 Diğer Ülke Standartları 31
3.4 Amerikan APTA Kılavuzu 31

BÖLÜM 4

HESAPLAMALAR 33

4.1 ISO 25745-3:2015 Standardı Kullanılarak Motor Gücü Hesabı 33
4.2 Klasik Yöntemle Motor Gücünün Hesaplanması 37
4.2.1 Basamak Zincir Kuvvetlerinin Hesabı 38
4.2.2 Elbandı Mekanizması Tahrik Hesabı 47
4.2.3 Motor Gücü Hesabı 50

BÖLÜM 5

YÜKLEME DURUMU ANALİZİ VE DOLULUK FAKTÖRÜ 51

5.1 Yürüyen Merdiven Taşıma Kapasitesi 51
5.2 Ağır Hizmet Tipi Yürüyen Merdivenlerin Yükleme Durumları 53
5.2.1 Yürüyen Merdiven Güç Tüketimi Ölçümü 54
5.2.2 Yolcu Sayısı ve Güç Tüketimi İlişkisi 71
5.2.3 Yükleme Durumu Değerlerinin Belirlenmesi 73
5.2.4 Yükleme Durumu Ağırlık Katsayısı 80
5.3 Doluluk Faktörü 85
5.4 Örnek Hesaplamalar 89

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER 96

KAYNAKLAR 100

ÖZGEÇMİŞ 102

SİMGE LİSTESİ

C_t	Zincir tekerlekleri için sürtünme katsayısı
d_1	Basamak ana tekerlek şaftının çapı [cm]
d_2	Zincir dişlisi şaftının çapı [cm]
d_3	Basamak zinciri pim çapı [cm]
d_e	Elbandı dönüş kasnak çapı [m]
D_1	Basamak ana tekerlek çapı [cm]
D_{bd}	Basamak zincir dişlisinin taksimat dairesi çapı [m]
e	Euler sayısı
E	Basamak başına yolcu sayısı
F	Basamak zincirine etkiyen bölgesel çekme kuvveti [N]
F_e	Elbandına etkiyen bölgesel çekme kuvveti [N]
F_{zincir}	Zincir üzerine etkiyen çekme kuvveti [N]
F_{e0}	Elbandı ön gerilme kuvveti [N]
$F_{elbandı}$	Elbandı üzerine etkiyen çekme kuvveti [N]
g	Yerçekimi ivmesi [m/s^2]
H	Yürüyen merdivenin giriş ve çıkış noktaları arası düşey yükseklik [m]
k_1	Elbandı üst dönüş bölümü uzunluğu [m]
k_2	Elbandı alt dönüş bölümü uzunluğu [m]
k_e	Elbandı faktörü
$k_{dişli}$	Basamak zincir dişlisi üzerindeki direnç katsayısı
k_t	Tekerlekler için yuvarlanma sürtünme katsayısı
l_1	Zincir dişlisi ile basamak başlangıç bölgesi arası mesafe [m]
l_2	Düz basamak bölgesi uzunluğu [m]
l_3	l_1 ve l_2 uzunluklarının toplamı [m]
l_4	Elbandı düz kısa bölüm uzunluğu [m]
l_5	Elbandı düz uzun bölüm uzunluğu [m]
L	Eğimli bölüm uzunluğu [m]
L_1	Eğimli bölüm başlangıç ve bitiş noktaları arası yatay mesafe [m]
m	Bir yolcunun ortalama kütlesi [kg]
m_e	Metre başına elbandı kütlesi [kg]
m_b	Bir adet basamağın kütlesi [kg]
m_p	Yolcu temasından dolayı metre başına oluşan el bandı yükü [kg]
m_z	Bir metre zincirin kütlesi [kg]
N	Motor gücü [kW]
p	Zincir adımı [cm]

$P_{elbandı}$	Elbandı mekanizması için gerekli güç miktarı [kW]
$P_{basamak}$	Basamak mekanizması için gerekli güç miktarı [kW]
P_{yolcu}	Yolcu yükü için gerekli güç miktarı [kW]
$P_{K.sistemi}$	Kontrol sistemi için gerekli güç miktarı [kW]
P_{Toplam}	Yürüyen merdiven toplam motor gücü [kW]
P_{min}	Minumum güç değeri [kW]
P_{max}	Maksimum güç değeri [kW]
$P_{\%25}$	%25 yükleme durumundaki güç değeri [kW]
$P_{\%50}$	%50 yükleme durumundaki güç değeri [kW]
$P_{\%75}$	%75 yükleme durumundaki güç değeri [kW]
P_{fark}	P_{max} ve P_{min} değerleri arasındaki fark [kW]
q_0	Basamak zinciri üzerindeki en düşük gerilme değeri [N]
$q_{basamak}$	Metre başına basamak ağırlığı [N]
q_{zincir}	Metre başına zincir ağırlığı [N]
q_{yolcu}	Metre başına yolcu ağırlığı [N]
R_{alt}	Alt dönüş eğrilik yarıçapı [m]
$R_{üst}$	Üst dönüş eğrilik yarıçapı [m]
t_b	Basamak derinlik değeri [m]
w	Harekete karşı direnç katsayısı
W	Basamak zincir dişlisi üzerindeki direnç kuvveti [N]
v	İşletme hızı [m/s]
YD_{AK}	Yükleme durumu ağırlık katsayısı
$YD_{yüksüz}$	Yolcusuz (boşta) çalışma yüzdesi
z	Basamak zincir dişlisi diş sayısı
α	Eğim açısı
α_{sr}	Basamak zincir dişlisi sarma açısı
β	Dönüş bölümü yayını gören açı
θ	Yatayla eğrilik yay noktaları doğrusu arasındaki açı
ψ	Doluluk faktörü
μ_{sb}	Basamak mekanizması için sürtünme katsayısı
μ_1	Zincir tekerleği ile tekerlek şaftı arasındaki rulmandaki sürtünme katsayısı
μ_2	Zincir dişlisi ile şaft arasındaki rulmanın sürtünme katsayısı
μ_3	Zincir bağlantılarındaki sürtünme katsayısı
μ_4	Elbandı sürtünme katsayısı
δ	Basamak doluluk faktörü
η	Sistem verimi

KISALTMA LİSTESİ

APTA	American Public Transportation Association
ASME	The American Society of Mechanical Engineers
BSLJ-EO	Building Standard Law Enforcement Order
EN	European Norm
ISO	International Organization for Standardization
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
JEAS	Japan Elevator Association Standard
MOC-N	Notifications of Ministry of Construction
NFPA	National Fire Protection Association
YM	Yürüyen merdiven

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1 Ames tarafından tasarlanan ilk yürüyen merdiven 5
Şekil 2. 2 Jesse Reno tarafından tasarlanan yürüyen merdiven 5
Şekil 2. 3 Coney Island'da kullanılan ilk yürüyen merdiven 6
Şekil 2. 4 Wheeler'in Seeberger tarafından geliştirilen yürüyen merdiven patenti 7
Şekil 2. 5 Türkiye'de kurulan ilk yürüyen merdiven haberi (1961) 8
Şekil 2. 6 Yürüyen merdiven çalışma prensibi 8
Şekil 2. 7 Yürüyen merdiven konstrüksiyonu 10
Şekil 2. 8 Çelik karkas yapısı 10
Şekil 2. 9 Çelik karkas yapısı mukavemet analizi 11
Şekil 2. 10 Üst dönüş istasyonu 12
Şekil 2. 11 Yürüyen merdiven tahrik grubu 12
Şekil 2. 12 Tahrik motor grubu 13
Şekil 2. 13 Farklı motor grubu tasarımı 13
Şekil 2. 14 Ana tahrik şaftı ve üzerindeki ekipmanlar 14
Şekil 2. 15 Elekro-mekanik fren mekanizması (servis freni) 15
Şekil 2. 16 Mekanik kilitlemeli yardımcı fren mekanizması 16
Şekil 2. 17 Otomatik zincir yağlama ünitesi 16
Şekil 2. 18 Kontrol panosu ve invertör 17
Şekil 2. 19 Yürüyen merdiven basamak detayı 18
Şekil 2. 20 Dıştan tekerlekli basamak zinciri detayı 18
Şekil 2. 21 Elbandı mekanizması 19
Şekil 2. 22 Elbandı kesiti (C tipi) 20
Şekil 2. 23 Kılavuz raylar çalışma prensibi 20
Şekil 2. 24 Alt dönüş istasyonu 21
Şekil 2. 25 Metal ve cam küpeşte sistemleri 22
Şekil 3. 1 Yürüyen merdiven yan görünüş prensip ölçüleri 27
Şekil 3. 2 Basamak test düzeneği 28
Şekil 3. 3 A17.1 standardı yürüyen merdiven kesit görünüşü ve boyutsal ölçüler 30
Şekil 4. 1 Bir apron konveyörün şematik gösterimi 37
Şekil 4. 2 Yatay bölümdeki harekette yük durumu 38
Şekil 4. 3 Eğimli yüzeydeki yük durumu 39
Şekil 4. 4 Alt eğrilik bölgesindeki yük durumu 39
Şekil 4. 5 Yürüyen merdiven üzerine etkiyen yükler 41
Şekil 4. 6 Yürüyen merdivenin şematik gösterimi ve yük noktaları 42
Şekil 4. 7 Basamak zinciri güzergahı boyunca gerilme dağılımı 44

Şekil 4. 8 Elbandı mekanizmasının şematik gösterimi 47
Şekil 4. 9 Elbandı faktörü 48
Şekil 5. 1 Yürüyen merdivendeki yolcu sirkülasyonu 53
Şekil 5. 2 Güç analizörü 54
Şekil 5. 3 Power Log - Güç analizörü veri işleme programı 54
Şekil 5. 4 Yukarı ve aşağı yönde hareket durumunda güç tüketimi 55
Şekil 5. 5 Yürüyen merdiven elektrik panosuna güç analizörünün bağlanması 56
Şekil 5. 6 YM14 nolu yürüyen merdivenin günlük güç tüketimi - zaman grafiği 58
Şekil 5. 7 YM14 nolu yürüyen merdivenin saatlik güç tüketimi - zaman grafiği 58
Şekil 5. 8 YM14 nolu yürüyen merdivenin güç tüketimi - zaman grafikleri 59
Şekil 5. 9 YM14 nolu yürüyen merdivenin kamera görüntüsü 60
Şekil 5. 10 YM14 nolu yürüyen merdivenin günlük yolcu sayısı - zaman grafiği 62
Şekil 5. 11 YM14 nolu yürüyenin merdivenin saatlik yolcu sayısı - zaman grafiği 62
Şekil 5. 12 YM14 nolu yürüyen merdivenin yolcu sayısı - zaman grafikleri 63
Şekil 5. 13 Aynı süre için güç tüketimi–zaman ve yolcu sayısı–zaman grafikleri 64
Şekil 5. 14 Yolcu sayısı ve güç tüketimi grafiklerinin kıyaslanması 64
Şekil 5. 15 İstasyon-1 YM1 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği 67
Şekil 5. 16 İstasyon-2 YM2 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği 67
Şekil 5. 17 İstasyon-3 YM3 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği 67
Şekil 5. 18 İstasyon-4 YM4 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği 68
Şekil 5. 19 İstasyon-5 YM5 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği 68
Şekil 5. 20 İstasyon-6 YM6 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği 68
Şekil 5. 21 İstasyon-7 YM7 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği 69
Şekil 5. 22 İstasyon-8 YM8 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği 69
Şekil 5. 23 İstasyon-9 YM9 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği 69
Şekil 5. 24 İstasyon-10 YM10 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği 70
Şekil 5. 25 İstasyon-11 YM11 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği 70
Şekil 5. 26 İstasyon-12 YM12 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği 70
Şekil 5. 27 İstasyon-13 YM13 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği 71
Şekil 5. 28 Yolcu sayısı ve güç tüketimi arasındaki değişim (YM14) 72
Şekil 5. 29 Yürüyen merdiven yükleme durumu grafiği 74
Şekil 5. 30 Microsoft Excel programı Pivot özelliği ile verilerin süzülmesi 75
Şekil 5. 31 Yükleme durumu alanlarının belirlenmesi 76
Şekil 5. 32 Yükleme durumuna göre çalışma süre ve yüzdelerinin gösterimi (YM4) 78
Şekil 5. 33 Ortalama günlük yolcu sayıları ve ağırlık katsayıları (14 merdiven) 84
Şekil 5. 34 Ortalama günlük yolcu sayıları ve ağırlık katsayıları (12 merdiven) 85
Şekil 5. 35 Yürüyen merdiven maksimum tüketilen güç değerleri 86
Şekil 5. 36 Ağırlık katsayısı ile doluluk faktörü noktaları 87
Şekil 5. 37 Doluluk faktörü – ağırlık katsayısı grafiği 88

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3. 1 Yürüyen merdivenlerle ilgili standartlar listesi 24
Çizelge 3. 2 Maksimum yolcu kapasitesi 29
Çizelge 4. 1 ISO 25745-3:2015 standardı referans değerler tablosu..... 35
Çizelge 4. 2 Tekerlek mekanizması ile hareket eden zincirler için direnç katsayıları. 40
Çizelge 5. 1 Yürüyen merdiven teorik taşıma kapasiteleri 52
Çizelge 5. 2 Belirli bir süre aralığı için güç ölçüm sonuçları (YM14) 57
Çizelge 5. 3 Belirli bir süre aralığı için yürüyen merdivendeki yolcu sayıları (YM14) . 61
Çizelge 5. 4 Ölçüm yapılan yürüyen merdiven listesi 66
Çizelge 5. 5 Herbir yolcu sayısı için güç tüketim değerleri (YM14) 72
Çizelge 5. 6 Çalışma aralığına göre güç tüketim değerleri (YM4)..... 76
Çizelge 5. 7 Yükleme durumuna göre bir günlük çalışma süre ve yüzdeleri (YM4) ... 78
Çizelge 5. 8 Yükleme durumuna göre bir günlük çalışma süreleri 79
Çizelge 5. 9 Yükleme durumuna göre bir günlük çalışma yüzdeleri..... 80
Çizelge 5. 10 Yükleme durumları yüzdelerine göre ağırlık katsayısı 82
Çizelge 5. 11 İstasyon aylık ve günlük yolcu sayıları..... 83
Çizelge 5. 12 100% yük altında yükleme durumu 85
Çizelge 5. 13 Ağırlık katsayısına bağlı olarak doluluk faktörünün bulunması 88
Çizelge 5. 14 Ağır hizmet tipi yürüyen merdivenler için doluluk faktörü değerleri 89

ÖZET

YÜRÜYEN MERDİVENLERİN YÜKLEME DURUMLARINA GÖRE SINIFLANDIRILMASI

Kenan YILDIZ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet SAĞIRLI

Yürüyen merdivenler, farklı kotlar arasında taşıma işlemi yapan ekipmanlar olup kısa mesafeler için asansörlere alternatif olmuşlardır. Taşıma mesafesinin kısıtlı olması gibi dezavantajına rağmen, yüksek taşıma kapasitesi ve bekleme süresi olmaması gibi avantajları vardır. Trafik yoğunluğuna göre farklı hızlarda ve farklı genişliklerde üretilebilmektedirler. Bu özellikler taşıdığı yolcu sayısına etki eden faktörlerdir.

Bir yürüyen merdiven genel olarak çelik karkas yapısı, basamak ve zincir mekanizması, el bandı mekanizması, motor ve redüktör, ana tahrik mili ve dişli çarklar, emniyet tertibatları, vb. gibi alt ekipmanlardan oluşmaktadır. Yürüyen merdivenin kullanım amacına göre tasarım yapılırken, seçilen tasarım kriterleri bu ekipmanların da seçimini etkilemektedir.

Yürüyen merdivenlerin tasarımında ve temininde, ülkemizde Avrupa normu EN 115 standardı esas alınmaktadır. Başka ülkelerde farklı standartlar da kullanılmaktadır. Örneğin Amerikan ASME A.17.1 standardı ve APTA kılavuzu buna örnek olarak verilebilir.

Yürüyen merdivenler kullanılacakları yere göre genel olarak “Ticari Tip” ve “Ağır Hizmet Tipi” olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Alışveriş merkezleri, hastaneler, kamu binaları gibi fazla yoğunluk bulunmayan yapılarda kullanılan yürüyen merdivenler ticari tip olarak adlandırılır. Metro istasyonları, havaalanları, diğer toplu taşıma istasyonları, stadyumlar gibi sürekli aşırı yolcu yoğunluğunun bulunduğu yapılarda kullanılan yürüyen merdivenler ise ağır hizmet tipi olarak adlandırılır.

Yürüyen merdivenlerin bu şekilde sınıflandırılması yolcu yoğunluğu, yani gün içinde maruz kaldığı yükleme durumu ile ilgilidir. Dolayısıyla yürüyen merdivenler tasarlanırken maruz kalacakları yolcu yoğunluğu (yükleme durumlarının) göz önüne alınmalıdır. Bu nedenle, yürüyen merdivenlerin yüksüz durumda ve farklı yükleme değerlerinde (örn. %25, %50, %75 ile %100 gibi) ne kadar çalışacaklarının öngörülmesi, tasarım optimizasyonu, enerji tasarrufu ve maliyet açısından önem arz etmektedir.

Bu amaçla bu tez çalışmasında, İstanbul metrosunda farklı günlük yolcu yoğunluklarının bulunduğu istasyonlarda yürüyen merdivenlerin yükleme durumları belirlenmiştir. Bunun için kamera görüntüleri kullanılarak anlık olarak yürüyen merdiven üzerinde bulunan yolcu sayıları tespit edilmiştir. İzlenen aynı süre için anlık olarak çekilen güç miktarı da ölçülmüştür.

Anlık yolcu sayıları ve güç tüketimi grafikleri incelendiğinde, grafiklerin birbirine benzer olduğu, grafiklerdeki değişimlerin ise birebir aynı olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla yürüyen merdivenlerin ölçülen güç tüketim değerleri, yükleme durumunun değerlendirilmesinde kaynak olarak kullanılabilmiştir.

Yürüyen merdivenin çektiği minimum (boşta) ve maksimum güç değerleri kullanılarak, %0, %25, %50, %75 ve %100 yükleme durumları için güç değerleri elde edilmiştir.

Bu aralıklardaki güç değerleri kullanılarak, yürüyen merdivenlerin hangi aralıkta ve hangi yoğunlukta çalıştığı yüzdesel olarak belirlenmiştir. Bu veriler yürüyen merdivenin bulunduğu yapıda öngörülen yolcu sayısıyla ilişkilendirilerek, ağırlık katsayıları ve doluluk faktörü değerleri elde edilmiş, bu değerlerin tasarım esnasında bir hesaplama parametresi olarak kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yürüyen merdiven, doluluk faktörü, yükleme durumu, güç tüketimi, ağırlık katsayısı

ABSTRACT

CLASSIFICATION OF ESCALATORS ACCORDING TO LOADING STATUS

Kenan YILDIZ

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Ahmet SAĞIRLI

Escalators are transportation equipment servicing between different elevations and they have been an alternative to elevators for short distances. Despite the limited transportation distance disadvantage, they have advantages like no waiting time and high transport capacity. They can be designed with different speeds and different widths according to the traffic density. These features are the main factors affecting passenger transport capacity.

An escalator is generally made of steel truss structure, step and chain links, handrail mechanism, motor and reducer, main track shaft and gear wheels, safety equipment, etc. Design criteria affect the selection of these equipment when designing escalators.

European standard EN 115 is the basis in the design and supply of escalators. Different standards are used in other countries. For example American ASME A.17.1 standard and the APTA design guideline.

Escalators are divided into 2 classes as “Commercial Type” and “Heavy Duty” according to their location of use. Commercial type escalators are used in buildings, which do not have much occupant density such as shopping centers, hospitals, public buildings. Heavy duty escalators are used in buildings with continuous overloading density such as metro stations, airports, other public transportation stations and stadiums.

This classification of escalators is related to the occupant density, to which they are exposed during the day. Therefore, it is necessary to take the passenger density (loading conditions) into account when designing escalators. For this reason it is important to

determine for how long the escalators will work with no load condition and how much they will work in different loading status (such as 25%, 50%, 75%, and 100%) for design optimization, energy efficiency, and cost – benefit analysis.

For this purpose, in this thesis different loading conditions of escalators in various metro stations of İstanbul with different daily passenger densities were studied. For this, the number of passengers on the escalators was determined using the camera images. The amount of power taken instantaneously for the same period of time is also measured.

Analyzing the instantaneous passenger numbers and power consumption graphs, shows similarities; moreover the changes in the graphs show they are exactly the same. Therefore, measured power consumption values of escalators can be used as a source for evaluating the loading status.

The power ratings are determined for 0%, 25%, 50%, 75% and 100% loading status using the minimum (idle) and the maximum power ratings of escalators.

Using the power ratings within these loading status, the ranges and the densities for the escalators' working regime is determined in percentage values. These data are evaluated and linked with the number of passengers in the structure where the escalator is located to obtain weight coefficient and occupancy factor values, to be used as parameters during the design stage.

Keywords: Escalator, occupancy factor, loading status, power consumption, weight coefficient

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Yürüyen merdivenler hakkındaki literatür çalışmaları, asansör ve konveyör sistemleri gibi transport sistemlerine göre daha azdır. Belirli büyük firmalar tarafından üretilmeleri sebebiyle detaylı bilgiler genelde üreticilerden elde edilebilmektedir. Yürüyen merdivenlerle ilgili standartlarda da genelde güvenlik tertibatları öncelikli ifadeler yer almaktadır. Dolayısıyla tasarım ve hesaplama yöntemleri ile ilgili fazla detay bulunmamaktadır.

Yürüyen merdivenlerin çalışma süresi içerisinde maruz kalacağı yükleme durumlarının ve çalışma koşullarının doğru olarak belirlenmesi ile, tüm alt ekipman seçimleri (motor grubu, zincir mekanizması, basamak ve zincir tekerlekleri, basamaklar, fren, tahrik şaftı, vb.) doğru yapılacaktır.

Al-Sharif [1] yaptığı çalışmada asansör ve yürüyen merdivenlerin motor kapasitesinin belirlenmesi için ilgili parametreleri incelemiştir. Yapılan çalışmada yürüyen merdiven kapasitesinin belirlenmesinde; merdivenin düşey yüksekliği, sistemin verimi, redüktörün verimi, yürüyen merdivenin çalışma hızı, yürüyen merdivenin eğimi, basamaktaki yolcu sayısı ve basamağın yüksekliği gibi faktörlerin etkili olduğu belirtilmiş ve tahrik motoru için güç hesabı formülü oluşturulmuştur.

Vasilyevich [2] çalışmasında yürüyen merdivenlerin tasarım parametrelerini incelemiş ve yürüyen merdiven üzerinde oluşan direnç katsayılarını detaylı belirleyerek, ekipman seçimi için gerekli hesaplama yöntemlerini göstermiştir.

ISO 25745-3:2015 [3] standardında yürüyen merdivenin motor gücü hesabı için toplam güç tüketimini meydana getiren bileşenler ve bunları hesaplamak için formüller verilmiştir. Ayrıca formüllerde kullanılan ilgili katsayılar da tablolar halinde sunulmuştur.

Amerikan Toplu Taşıma Birliğinin APTA RT-EE-RP-001-02 [4] nolu dokümanında ağır hizmet tipi yürüyen merdivenlerin tasarım kriterleri için detaylı tanımlamalar bulunmakdatır. Tüm literatür içesinde "Ağır Hizmet Tipi Yürüyen Merdivenlerin" detaylı tanımlandığı tek dokümandır.

Takács [5] yürüyen merdiven basamak zinciri gergi tertibatını incelediği çalışmasında, yürüyen merdiven alt ekipmanlarının tasarımı için gerekli formülleri kullanarak mukavemet ve ömür hesaplarını yapmıştır.

İmrak ve Gerdemeli [6] yürüyen merdivenlerin çalışma prensibi ve alt ekipmanları hakkında detaylı inceleme yapmış, kapasite belirleme, seçim ve hesaplamalarla ilgili formülleri vermişlerdir.

Markos [7] çalışmasında hizmet performansı ve enerji tüketimini dikkate alarak, binalarda daha verimli yürüyen merdivenlerin tasarımı için bir yöntem geliştirmiştir. Bunun için enerji tüketimi, yolcu yoğunluğu, yükseklik ve hız gibi parametreler arasında ilişki kurularak bir Enerji – Hizmet Verimliliği Endeksi (IES) önerilmiştir.

Uimonen [8] çalışmasında aşağı ve yukarı yönde çalışan yürüyen merdivenlerin yolcu yüküyle beraber enerji tüketim davranışlarını ve enerji tasarruf teknolojilerinin yürüyen merdiven üzerindeki etkilerini incelemiştir.

1.2 Tezin Amacı

Literatürde yürüyen merdivenlerin kullanım yerlerine göre sınıflandırılması konusunda fazla çalışma bulunmamaktadır. Genelde üreticilerin önerilerine bağlı kalınmakta ve önerdikleri tip kullanılmaktadır. Mecvut EN 115 Avrupa Birliği standardı yürüyen merdiven üretiminde ve temininde esas alınmakla beraber, içeriğinde genelde emniyet sistemleri ile ilgili detaylar yer almaktadır. Hesap yöntemleri ve alt ekipman seçimi ile ilgili detaylı bilgi içermemektedir.

Bu tezin amacı yürüyen merdivenlerin tasarımında en önemli kriterlerin başında gelen yükleme durumunu inceleyerek, kullanım yoğunluğuna bağlı olarak sınıflandırma yapmaktır. Böylece yürüyen merdivenler, yükleme durumuna bağlı olarak tespit edilen katsayıların hesaplamalarda kullanılmasıyla tasarım aşamasında sınıflandırılabilirler.

1.3 Hipotez

Sahada yapılan gözlemlerle yürüyen merdivenlerin hangi yoğunlukta kullanıldığı tespit edilebilir. Artan yolcu sayısı ile güç tüketimi arttığından, ikisi arasındaki ilişki tespit edilerek çalışmalarda zamana bağlı güç tüketim verileri kullanılabilir. Böylece farklı yoğunluktaki binalarda bulunan yürüyen merdivenler için yükleme durumuna göre çalışma yüzdeleri çıkarılabilir ve öngörülen yolcu sayısına göre yürüyen merdiven tasarımında kullanılacak katsayılar oluşturulabilir.

BÖLÜM 2

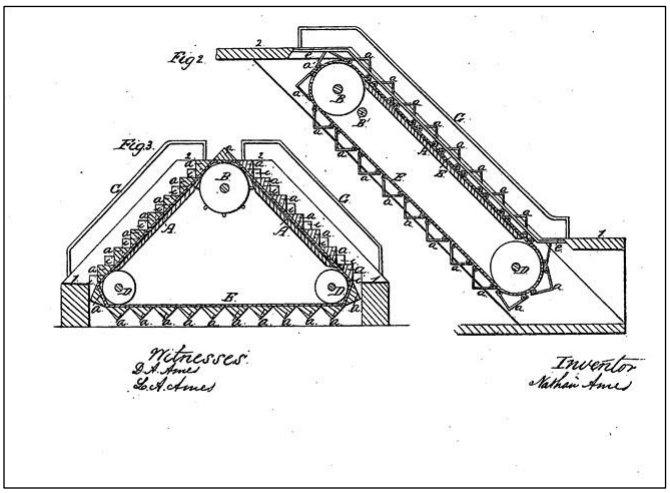
YÜRÜYEN MERDİVENLER

2.1 Tarihsel Gelişim

Malzemeleri eğik düzlemde taşıma düşüncesi eski zamanlarda ortaya çıkmış olup, Mısır'daki Büyük Giza Piramidinin yapımında (M.Ö.2500) kullanılmıştır [9]. Ağaç gövdelerine döşenmiş taş bloklar, yapay toprak köprülerde yukarı doğru taşınmıştır. Bu taşıma yöntemi günümüzdeki yürüyen merdivenlerin çalışma prensibine örnek teşkil etmiş, malzemelerin hareket eden düzlemsel yüzeylerde taşınması fikrine öncülük etmiştir.

Yürüyen merdivenlerin gelişmesinde ve günlük hayatımızda bugünkü yerine almasında Nathan Ames, Jesse Wilford Reno, Jacques Halle, George H.Wheeler, Charles D. Seeburger ve James M.Dodge gibi birçok bilim adamının katkıları bulunmaktadır [10].

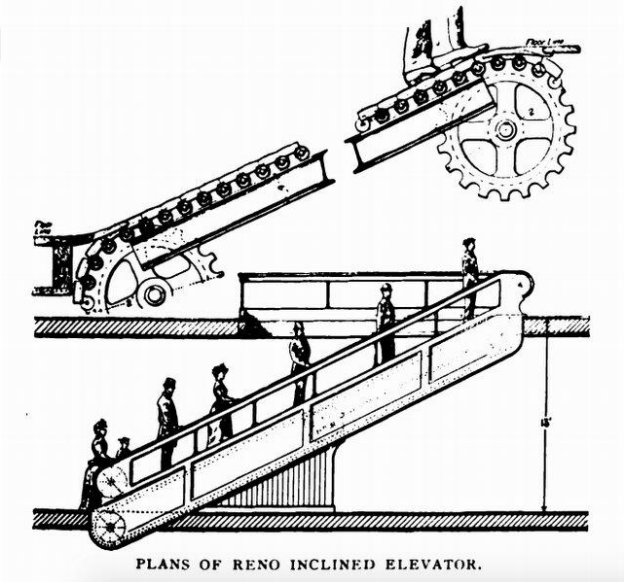
Amerikalı mucit Nathan Ames, yürüyen merdivenlerin ilk örneği olan çalışmasını 1856 yılında tasarlamış ve "Revolving Stairs – Dönen Merdiven" adı altında patentini almıştır. Çalışma prensibi basamakların üç kılavuz tekerleğin etrafında eşkenar üçgen şeklindeki bir formda sürekli bir döngüyle hareket etmesine dayanmaktaydı (Şekil 2.1). Sabit tırabzalanlara sahip olan bu tasarım hiçbir zaman pratikte uygulanmamıştır.



Şekil 2. 1 Ames tarafından tasarlanan ilk yürüyen merdiven

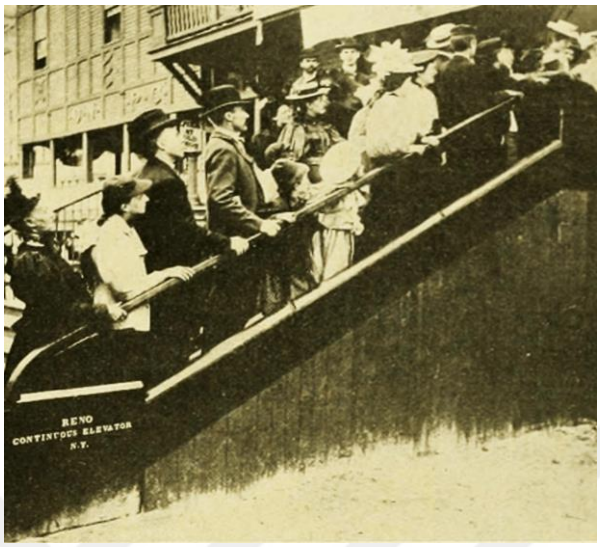
Leamon Souder 1889 yılında yaptığı çalışma için patent almış ve bu tasarımın ilk prototipi Jesse W. Reno tarafından "eğimli asansör" olarak adlandırılarak üretilmiştir.

Amerikan Jesse W. Reno 1892 yılında üzerine belli sayıda eğimli ayak plakalarının monte edildiği rampa benzeri bir konveyör bant sistemi (Şekil 2.2) tasarlayarak, "sonsuz bir konveyör – yürüyen merdiven" adı ile patent başvurusunda bulunmuştur.



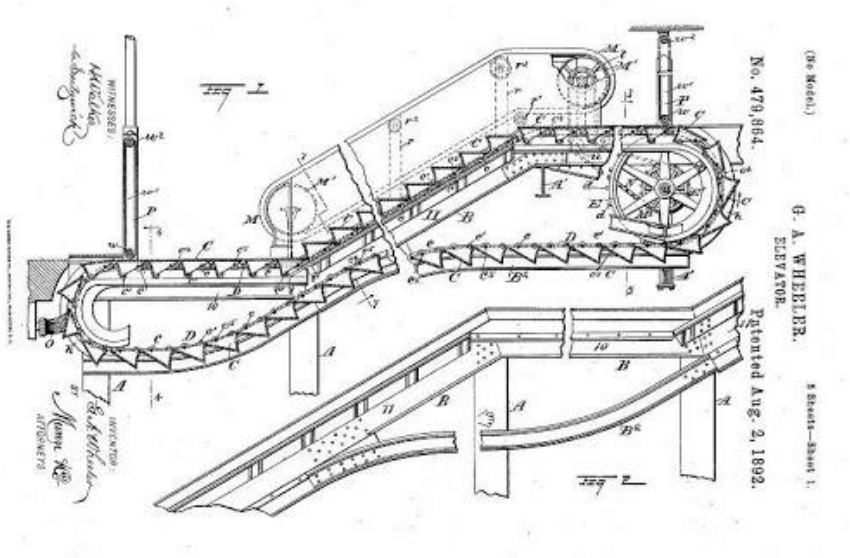
Şekil 2. 2 Jesse Reno tarafından tasarlanan yürüyen merdiven

25˚ açıyla, 2,1 metre yüksekliğinde ve 0,38 m/s çalışma hızında imal edilen Reno'nun ilk yürüyen merdiveni 1896 yılında New York Coney Island'da kurulmuştur (Şekil 2.3). İki hafta içerisinde bu yürüyen merdiveni 75.000 ziyaretçi kullanmıştır.



Şekil 2. 3 Coney Island'da kullanılan ilk yürüyen merdiven

1892 yılında George A. Wheeler geliştirdiği yürüyen merdiven prototipi için patent aldı [11]. Amacı bu tasarımını demiryolu sistemlerinde kullanmaktı. Fakat bu patent (Şekil 2.4) Otis Elevator Company için çalışmaya başlayan Charles Seeberger tarafından 1898 yılında satın alındı. Bu patentteki parçalardan da yararlanılarak, basamak tipli ilk yürüyen merdiven tasarlanmış oldu. Üretilen ilk prototip 1900 yılında Uluslararası Paris Fuarı'nda sergilenmiş ve birincilik ödülü almıştır. Ayrıca yürüyen merdiven anlamında olan "escalator" kelimesini, latince basamak anlamındaki scala ve elevator kelimelerini birleştirerek Seeberger türetmiştir.



Şekil 2. 4 Wheeler'in Seeberger tarafından geliştirilen yürüyen merdiven patenti

Jesse Reno ve Charles Seeberger'in patentleri ve üretim ofisleri 1911 yılında Otis Elevator Company tarafından satın alınmıştır. Bundan sonraki süreçte yürüyen merdivenlerin gelişimi belli bir süre Otis firmasının tekelinde devam etmiştir. 1900 ile 1920'li yıllar arasında tırnaklı (düz) tip ve basamak tipli yürüyen merdivenlerden yaklaşık 350 adet ünite demiryolu istasyonlarında ve binalarda tesis edilmiştir. Daha sonraki süreçte metro istasyonlarında, fabrikalarda, işyerlerinin bulunduğu binalarda yürüyen merdivenler yoğun olarak kullanılmıştır.

1970'li yıllarda yürüyen merdivenler hakkındaki gelişmeler hızlanmış ve günümüzde kullandımız modern yürüyen merdivenler ortaya çıkmıştır.

Ülkemizde yürüyen merdiven kullanımı ve üretimi biraz geç başlamıştır. İlk yürüyen merdiven 1961 yılında İstanbul'da Atalar mağazasında kurulmuştur (Şekil 2.5). 1970'li yıllarda Gaziantep'te Haşim ve Muzaffer BAKBAK kardeşler yüzde yüz yerli yürüyen merdiven üretmeye başlamışlardır. Ülkemizde yürüyen merdiven kullanımı giderek artmış ve geldiğimiz süreçte başta metro istasyonları, havalimanları, alışveriş merkezleri, kamu binaları olmak üzere çok yoğun olarak kullanılmaktadır. Üretim olarakta yerli firmalar her geçen gün artmaktadır.

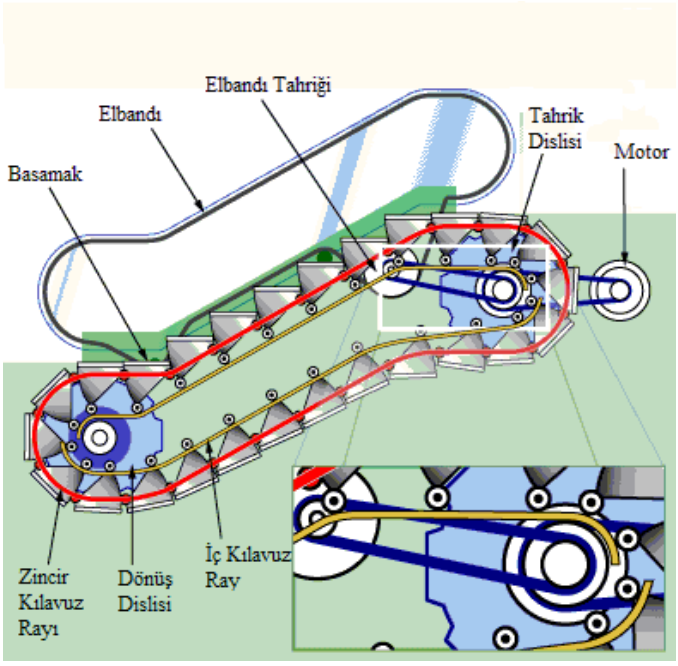


Şekil 2. 5 Türkiye'de kurulan ilk yürüyen merdiven haberi (1961)

2.2 Yürüyen Merdivenlerin Çalışma Prensibi

Yürüyen merdivenler 2 kot arasında, eğimli yüzeyde aşağı veya yukarı yönde yolcu taşıyan makinelerdir. Genel olarak apron konveyör sistemleriyle benzer prensipte çalışırlar. Bir grup dişli etrafında belli bir hızda hareket eden bir çift zincir mekanizması ve bunun üzerinde hareket eden ekipmanlardan oluşur (Şekil 2.6). Elektrikli motor grubu tarafından tahrik edilen dişliler döndükçe, üzerine basamakların bağlı olduğu zincirler yukarı veya aşağı yönde hareket ederler.

Mevcut tahrik sistemi üzerinden küpeşte (elbandı) sistemi de tahrik edilir Elbandı mekanizması da basamaklarla beraber aynı hızda ve aynı yönde hareket eder.



Şekil 2. 6 Yürüyen merdiven çalışma prensibi

Yürüyen merdivenler genel olarak üst çalışma kuyusu, alt çalışma kuyusu ve üzerinde hareketli akşamların bulunduğu eğimli çelik karkas yapısı olmak üzere 3 bölümden oluşur.

Üst bölümde motor/redüktör grubu ve üzerinde dişlilerinin bulunduğu ana tahrik mili bulunmaktadır. Ayrıca yağlama mekanizması, kontrol panosu, mekanik fren tertibatı gibi ekipmanlar da üst kuyudadır.

Alt dönüş istasyonunda ise iki adet zincir dönüş dişlisi, gergi tertibatı gibi ekipmanlar bulunmaktadır.

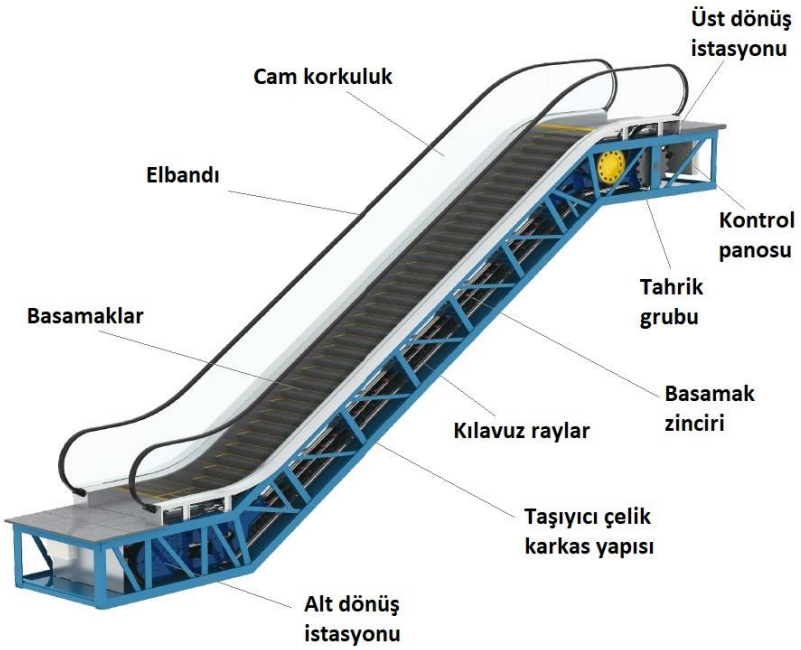
Yürüyen merdiven kontrol sisteminden gelen komutla belli bir hızda aşağı veya yukarı yönde çalışır. Üst kuyuda bulunan invertör yardımıyla yolcu durumuna göre tanımlanmış farklı hızlarda çalışabilmektedir. Örneğin normal çalışma koşullarında 0,65 m/s hızla çalışan yürüyen merdiven, belli bir süre yolcu olmazsa tasarruf moduna geçerek 0,2 m/s hızla çalışmaya başlar. Bu sistem üst ve alt yolcu girişlerinde bulunan sensörler yardımıyla kontrol edilir.

Yürüyen merdiven üzerine yolcuların rahat inip binmeleri için eğimin başladığı ve bittiği noktalarda düz bölümler bulunmaktadır. Bu durum, alt ve üst dönüş istasyonlarında sonra düz bir bölüm oluşturarak belli sayıda basamağın düz bölümde hareketiyle sağlanır. Bu bölümlerde yürüyen merdivenin yüksekliğine göre 2, 3 veya 4 basamak bulunabilmektedir. EN 115 standardında en az 2 basamak olacak şekilde tanımlanmıştır. Ulaşım sistemlerinde kullanılan ağır hizmet tipi yürüyen merdivenlerde 10 metre altı yükseklikler için 3, 10 metre üstü yükseklikler için 4 düz basamak bulunmaktadır.

Yürüyen merdivenler üzerindeki basamaklar ve elbandı, sürekli hareket halinde olduğu için yolcuların maruz kalabileceği kaza durumları için emniyet tertibatları bulunmaktadır. Tarak plakası sivici, elbandı flap sıkışma sivici, basamak yok sivici, vb. gibi emniyet tertibatları ile bir kaza durumunda merdiven acil olarak durmaktadır.

2.3 Yürüyen Merdiven Konstrüksiyonu ve Alt Ekipmanları

Yürüyen merdivenler çelik karkas yapısı, alt ve üst kuyuları, tahrik grubu, ana tahrik şaftı ve tahrik dişlileri, basamak zincirleri, basamaklar, el bandı mekanizması, vb. gibi ekipmanlardan oluşurlar (Şekil 2.7).



Şekil 2. 7 Yürüyen merdiven konstrüksiyonu

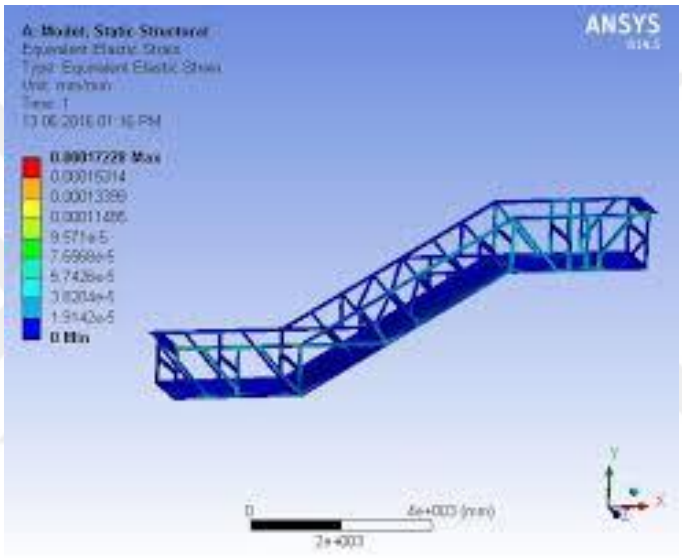
2.3.1 Çelik Karkas Yapısı

Karkas yapısı yürüyen merdivenin iskelet yapısıdır (Şekil 2.8). Üzerindeki tüm ekipmanların ağırlığından ve yolculardan kaynaklanan yükü taşır ve bulunduğu inşai yapıya aktarır. Dolayısıyla gerek inşai yapının statik hesapları gerekse de yürüyen merdiven tasarımının doğru olması için kendi ağırlığı ile maruz kalacağı tüm yüklerin doğru hesaplanması gerekir.



Şekil 2. 8 Çelik karkas yapısı

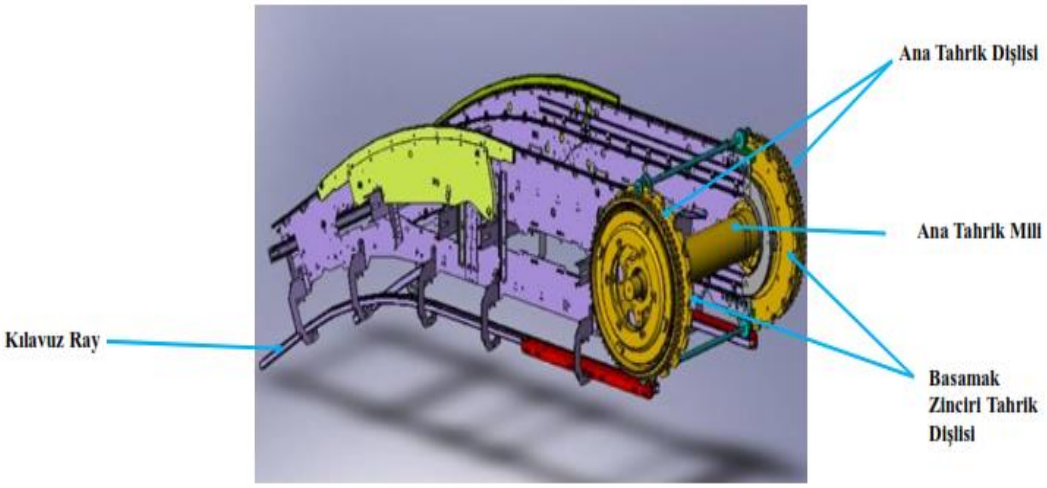
EN 115-1 standardı gereğince yürüyen merdiven çelik karkas yapısı tasarımında gövdenin kendi ağırlığına ek olarak 5000 N/m^2 'lik bir yapısal yükünde hesaba katılması gerekmektedir. Yine standart gereğince hesaplamalar EN 1993-1:2005 standardına göre yapılmalıdır. Bütün bu yükleme durumları belirlenip, sayısal analiz yöntemleri kullanılarak çalışma esnasında yürüyen merdiven karkas yapısınında oluşabilecek sehimlerin sınır koşullar içinde kalıp kalmadığı ve oluşan gerilme yığılmaları kontrol edilir. EN 115-1 standardı gereğince analizler boyunca 5000 N/m^2 yük altında tespit edilen sehim değeri, yürüyen merdivenin binaya oturduğu alt ve üst noktaları arasındaki yatay mesafenin 1/750 değerinden düşük olmalıdır.



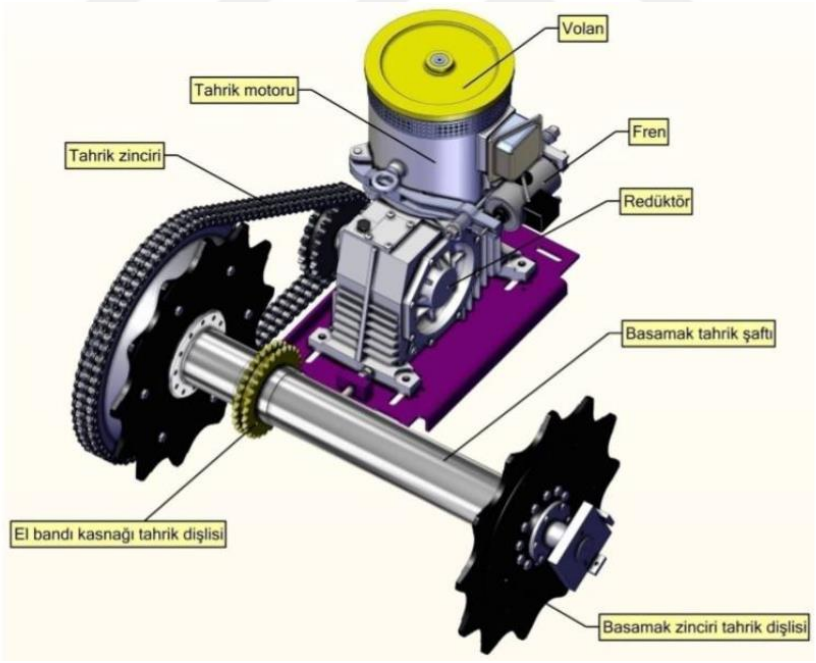
Şekil 2. 9 Çelik karkas yapısı mukavemet analizi

2.3.2 Üst Çalışma Kuyusu

Üst dönüş istasyonu olarak da adlandırılan bu bölüm motor, redüktör, fren mekanizması, ana tahrik mili, tahrik dişlileri, yağlama mekanizması, kontrol panosu, inventör gibi ekipmanların bulunduğu kısımdır. Yürüyen merdivenin tahriği üst çalışma kuyusundan sağlanır.



Şekil 2. 10 Üst dönüş istasyonu



Şekil 2. 11 Yürüyen merdiven tahrik grubu

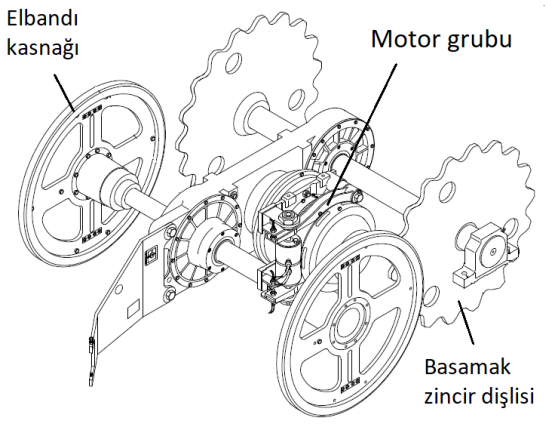
2.3.2.1 Motor

Yürüyen merdivenin hareketinin gerçekleşmesi için gereken tahriki verir. Üst çalışma kuyusunda bulunur. Redüktörü ve fren mekanizmasıyla beraber temin edilirler (Şekil 2.12). Tek veya çift hızlı asenkron motorlardır. Genelde enerji tasarrufu için çift hızlı olanlar tercih edilir. Bu motorlar iki yönde de dönebilme özelliğine sahiptirler. Bu sayede yürüyen merdivenler yukarı ve aşağı yönde çalıştırılabilirler.



Şekil 2. 12 Tahrik motor grubu

Yürüyen merdivenin kapasitesi, hızı ve yüksekliğiyle orantılı olarak gerekli güç ihtiyacına göre tek veya çift olarak monte edilirler. Redüktör çıkışı ve ana tahrik şaftı arasındaki çift sıralı zincir ile gerekli tahrik sağlanır. Yürüyen merdiven motoru, kuyudaki yer kısıtlaması sebebiyle genelde dikey tip olarak tercih edilir. Tasarıma, merdiven yüksekliğine ve üst kuyu alanına bağlı olarak farklı tip motorlarda kullanılabilmektedir. Şekil 2.13'de üst kuyu alanında ek alana ihtiyaç duymayan ve redüktörle direkt ana tahrik şaftına bağlanan bir motor grubu tasarımı görülmektedir.

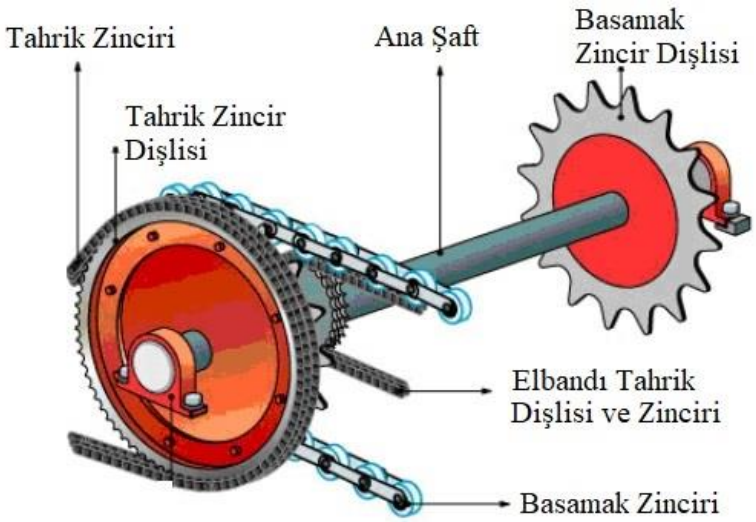


Şekil 2. 13 Farklı motor grubu tasarımı [12]

2.3.2.2 Ana Tahrik Şaftı

Ana tahrik şaftı üst çalışma kuyusunda bulunur. Motor grubu ile arasındaki çift sıra tahrik zinciri ile basamaklar ve elbandının hareketi için gerekli tahrik sağlanmış olur. Şaft her iki ucundan ayarlı yataklarla mesnetlenmiştir.

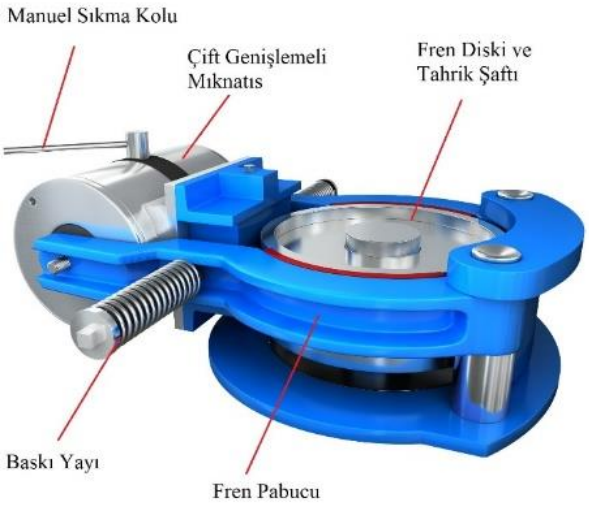
Üzerinde motor grubundan tahrik alan tahrik dişlisi, 2 adet basamak zincir dişlisi ve el bandı tahrik dişlisi bulunmaktadır (Şekil 2.14).



Şekil 2. 14 Ana tahrik şaftı ve üzerindeki ekipmanlar

2.3.2.3 Servis Freni

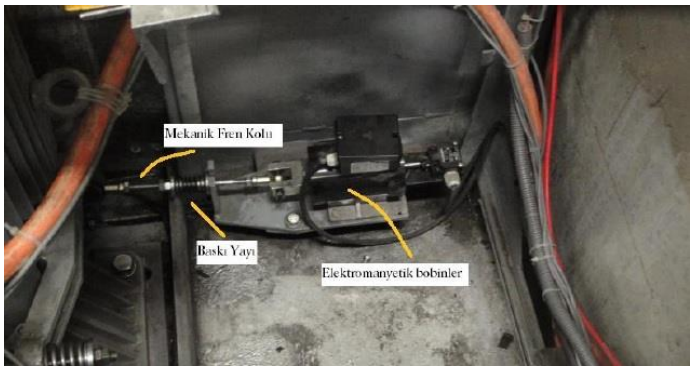
Motor şaftı üzerindeki fren sistemi enerji kesildiğinde, emniyet devreleri devreye girdiğinde veya acil durdarma düğmesine basıldığında merdiveni durdurur. Manyetik veya mekanik fren kullanılabilmektedir. Frenleme motor miline yapılan baskı ile gerçekleştirilir. Balatalar motor miline baskı yaparak motor hareketini durdurur. Sistem kapalı iken baskı varken, sistem çalışmaya başladığında fren motoru balatayı gevşetir ve motor mili dönmeye başlar. Manyetik frenlerde ise balata bobinlere verilen elektrik yoluyla gevşetilir ya da sıkıştırılır [11]. Fren balatalarının aşınma durumu, aşınma sensörü vasıtasıyla kontrol sistemine iletilir. Asansör frenleme sisteminde de olduğu gibi enerji varken sistem açıktır. Bunun sebebi enerji kesildiğinde yürüyen merdivenin bir müdahaleye gerek kalmadan durmasının sağlanmasıdır.



Şekil 2. 15 Elekro-mekanik fren mekanizması (servis freni)

2.3.2.4 Yardımcı Fren (Mekanik Fren)

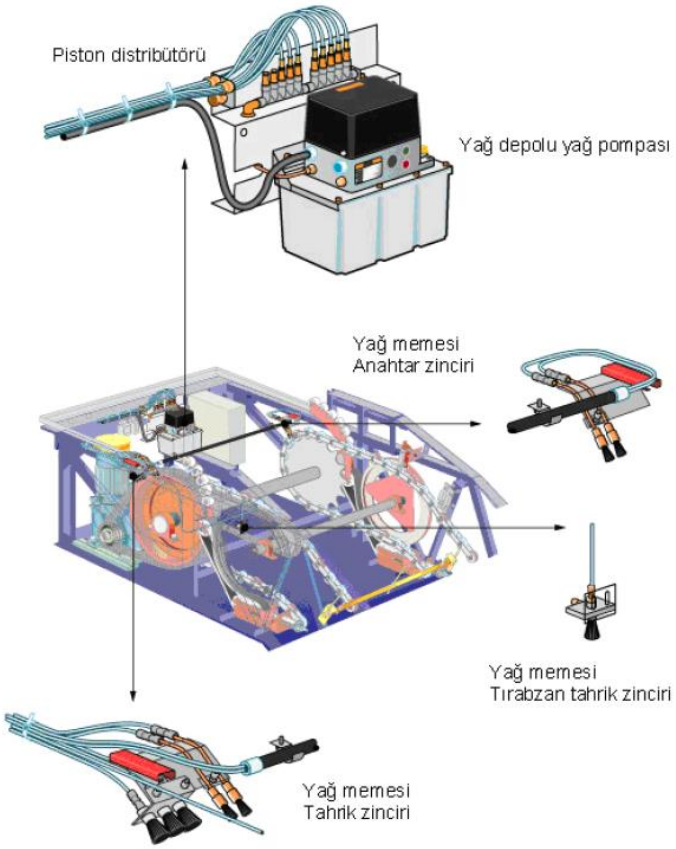
Yardımcı fren sürtünmeli veya mekanik kilitleme şeklinde kullanıma sahip olup, 2 farklı tipte uygulanabilir. Sürtünme prensibine göre çalışan yardımcı frenler ana tahrik miline monte edilirler. Devreye girmesi durumunda şaft üzerindeki balataların mili sıkması ile ana şaftın hareketine mani olurlar. Mekanik kilitlemeli yardımcı frenler ise üst kuyuda bulunup, ana tahrik milinin dış kısmında bulunan dişli kısmına ters çentiğini takarak ana şaftın hareket etmesine mani olurlar (Şekil 2.16). Yardımcı frenlerin servis altında kullanımı öngörülmez. Acil durumlarda devreye girerler. Tahrik zinciri koptu sivicinin devreye girmesi veya aşırı hızlanma ile devir sensörünün devreye girmesi sebebi ile yardımcı fren devreye girer, merdiven durur ve mekanik olarak kilitlenir. Ayrıca yardımcı fren, servis freninin normal şartlar altında çalışması ve yürüyen merdiveni durdurmasından belli bir süre sonra da güvenlik sebebi ile devreye girer. Merdiven tekrar çalışma komutu aldığında, ilk önce yardımcı fren bobinleri açılır, daha sonra servis frenleri açılır ve sonrasında motor devreye girer.



Şekil 2. 16 Mekanik kilitlemeli yardımcı fren mekanizması

2.3.2.5 Yağlama Ünitesi

Üst çalışma kuyusunda bulunan yağlama ünitesi ile zincirler günlük olarak yağlanır. Yağlama süreleri çalışma koşullarına göre belirlenir. Otomatik zincir yağlama ünitesi yağ deposu, yağlama pompası, kontrol cihazı, plastik hortumlar ve yağlama jetlerinden meydana gelir (Şekil 2.17).

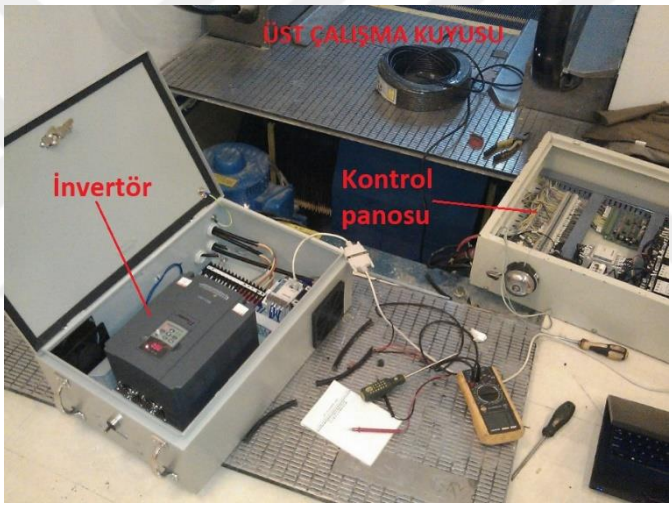


Şekil 2. 17 Otomatik zincir yağlama ünitesi

2.3.2.6 Kontrol Panosu ve İnvertör (Gerilim Frekans Dönüştürücü)

Yürüyen merdivenin enerji girişinin olduğu, kontrol sisteminin bulunduğu kontrol panosu ve invertör de üst çalışma kuyusunda bulunmaktadır (Şekil 2.18). Kontrol panosu bakım kolaylığı ve ortam koşullarını iyileştirmek için kuyu dışında bir bölüme de yerleştirilebilmektedir.

Yürüyen merdivenin üzerinde yolcu bulunup bulunmaması durumuna göre, invertör yardımıyla farklı çalışma hızları kullanılarak enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Örneğin normal çalışma hızı 0,65 m/s olan bir yürüyen merdivende, belli bir süre bekledikten sonra sensörler yardımıyla yolcu olmadığı tespit edilerek 0,2 m/s hıza geçilebilmektedir. Yaygın kullanım da bu şekildedir.

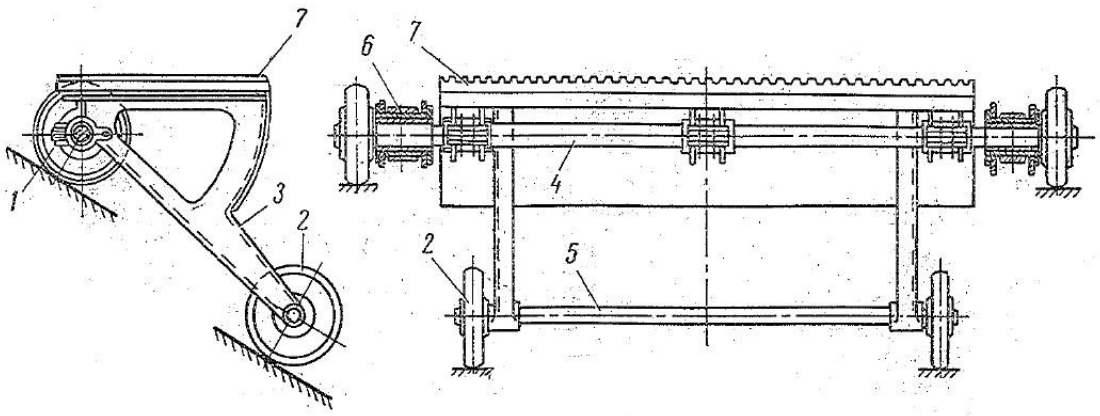


Şekil 2. 18 Kontrol panosu ve invertör

2.3.3 Basamaklar

Basamaklar yürüyen merdivende yolcuların taşındığı bölümdür ve genellikle döküm olarak alimünyum alaşımdan yekpare üretilirler. Basamak ölçüleri genişlik olarak 1000 mm, 800 mm veya 600 mm'dir. Yükseklikleri yaklaşık 200 mm, derinlikleri ise 400 mm'dir. Yolcuların kaymasını önlemek için basamak yüzeyinde girinti ve çıkıntılar bulunur.

Basamaklar, zincirle beraber monte edilen ana (ön) tekerlekler ve yedek (arka) tekerleklerle beraber kılavuz raylar üzerinde hareket ederler (Şekil 2.19).

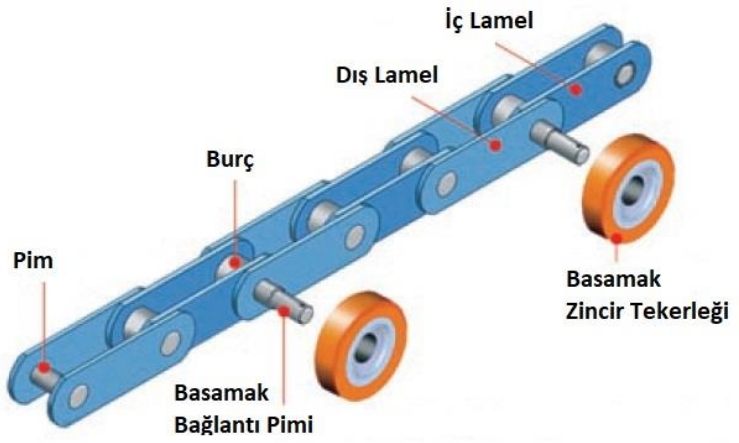


1-Ön tekerlek 2-Arka tekerlek 3-İskelet 4-Ön tekerlek şaftı
5-Arka tekerlek şaftı 6-Basamak zinciri 7-Basamak yüzeyi

Şekil 2. 19 Yürüyen merdiven basamak detayı

2.3.4 Basamak Zinciri

Basamak zinciri, dişlideki dairesel hareketi doğrusal harekete çevirerek yolcu ve basamak yükünü taşır. Zinciri raylar üzerinde kılavuzlayan tekerlekler ve tekerlek milleri zincirle beraber temin edilirler. Zincir tekerlekleri tasarıma göre baklalar içinde olduğu gibi, zincir dışında da konumlandırılabilir. Ağır hizmet tipi yürüyen merdivenlerde tekerlekler genel olarak zincir dışında bulunurlar (Şekil 2.20). Zincir tekerleklerinin çapları 75 mm ile 100 mm arasında değişmektedir.

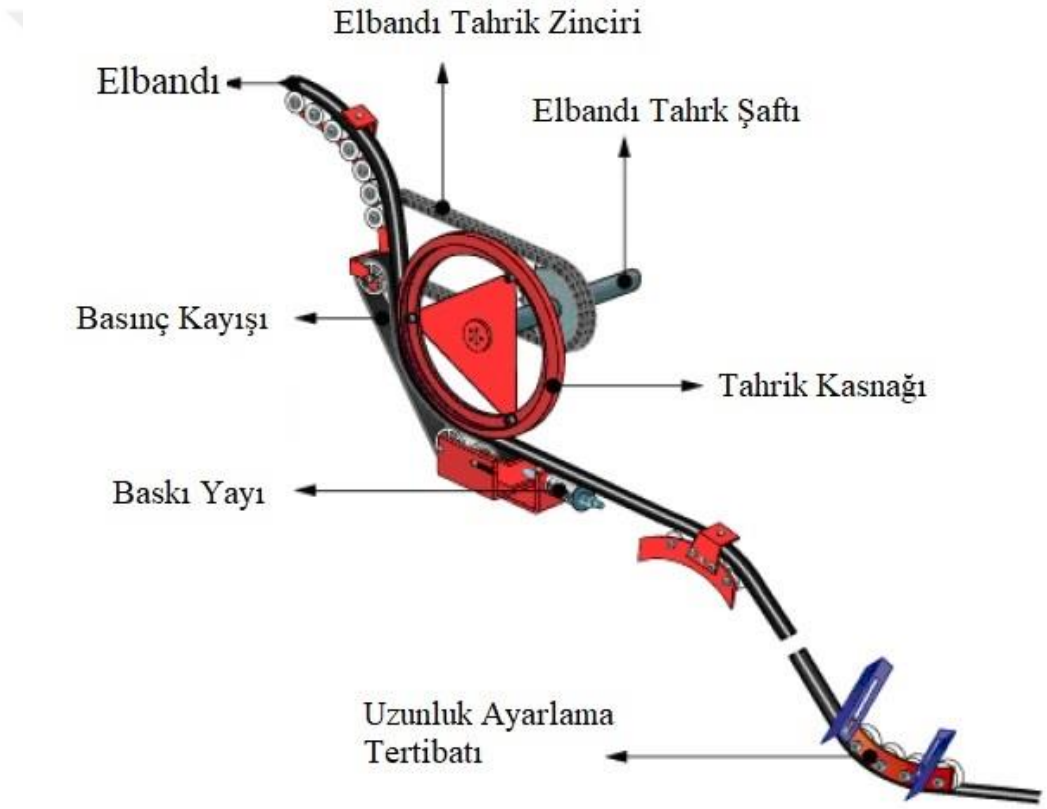


Şekil 2. 20 Dıştan tekerlekli basamak zinciri detayı

2.3.5 Elbandı Mekanizması

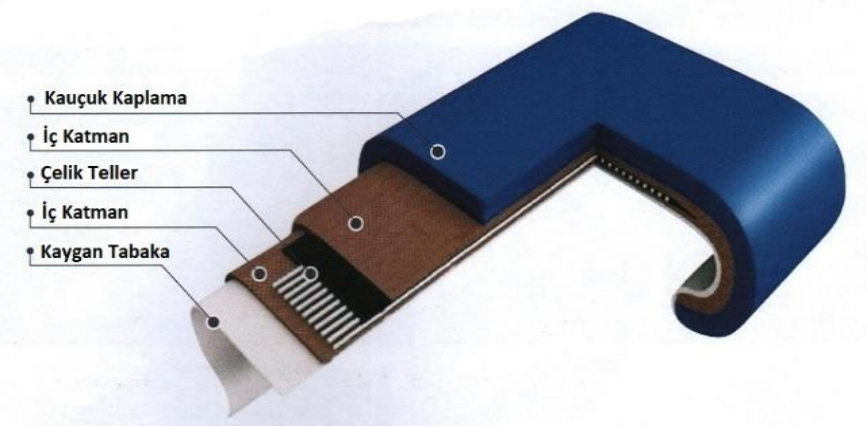
Elbandı yürüyen merdiven boyunca küpeşte görevi gören ve merdiven basamak hızı ile aynı hızda ve aynı yönde hareket eden ekipmandır. Tahriğini ana şafttan alır.

Ana şaft ve elbandı şaftı arasındaki çift sıra zincir ile iletilen tahrik, yürüyen merdivenin her iki yanındaki elbandı kasnakları yardımıyla elbandını hareket ettirir (Şekil 2.21). Basamak zincirinde olduğu gibi gerekli gerilmeyi sağlayabilmek için baskı yayı yardımıyla ön gerilme uygulanır. Yürüyen merdiven üzerinde elbandı güzerhahı boyunca dönüş kısımlarında sürtünmeyi azaltmak amacıyla makaralar bulunmaktadır.



Şekil 2. 21 Elbandı mekanizması

Elbandı kauçuk malzemeden sonsuz olarak üretilir. Hareketi boyunca sürekli bir çevrim söz konusu olup, yekparedir. Kılavuz üzerindeki yerleşimine göre C veya V tip olarak üretilirler. Dayanımlı olması için iç kısmında çelik teller bulunur (Şekil 2.22).

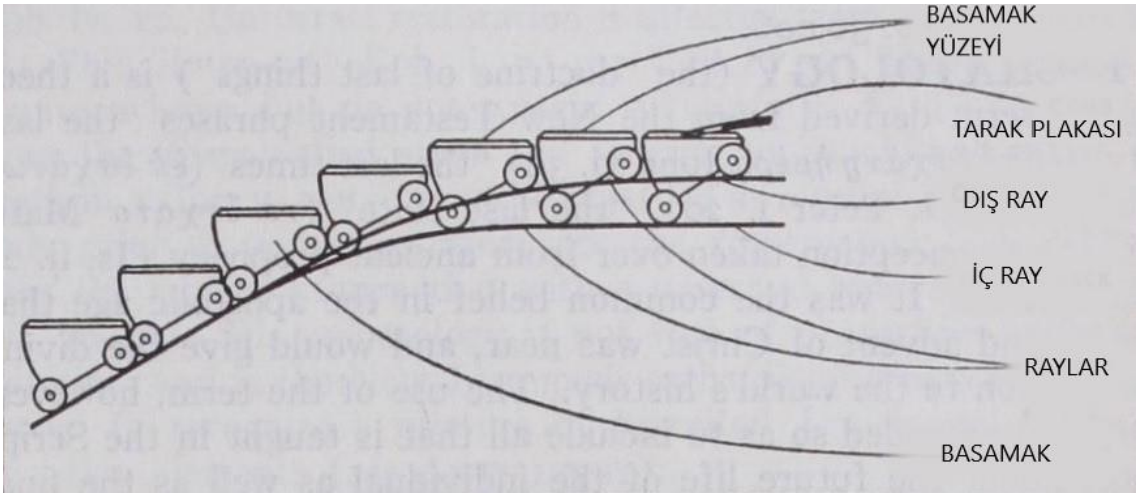


Şekil 2. 22 Elbandı kesiti (C tipi)

2.3.6 Kılavuz Raylar

Kılavuz ray sistemi basamak tekerleklerinin üzerinde hareket ettiği, tüm yükleme koşullarında basamak ve dişlileri destekleyen yapıdır. Basamak arka tekerlekleri ve basamağın bağlandığı ön taraftaki basamak taşıyıcı zincir tekerlekleri ayrı raylar üzerinde hareket ederler. Kılavuz raylar yolcunun taşındığı yürüyen merdivenin hem üst kısmında, hem de basamakların karkasın içinde geri döndüğü arka kısımda bulunurlar.

Raylar tekerleklerin güzergahları boyunca eğimli ve düz bölümlerde birbirlerine göre farklı konumlandırılmış olup, böylece basamak yüzeylerinin her zaman düz kalmasını sağlarlar (Şekil 2.23).

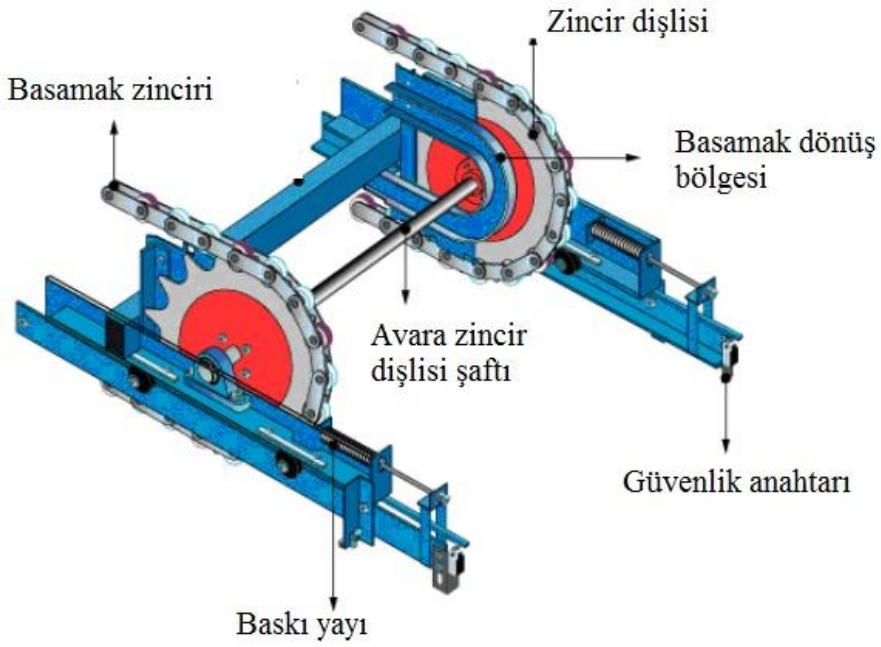


Şekil 2. 23 Kılavuz raylar çalışma prensibi

2.3.7 Alt Çalışma Kuyusu

Bu bölüm, yürüyen merdivenin alt kısmında basamakların dönüş yaptığı kısımdır. Zincir dönüş dişlileri ve zincir gergi tertibatı bu bölümdedir.

Her iki zincir içinde mevcut olan gergi tertibatı ile zincir için ön gergi kuvveti sağlanmış olur (Şekil 2.24).

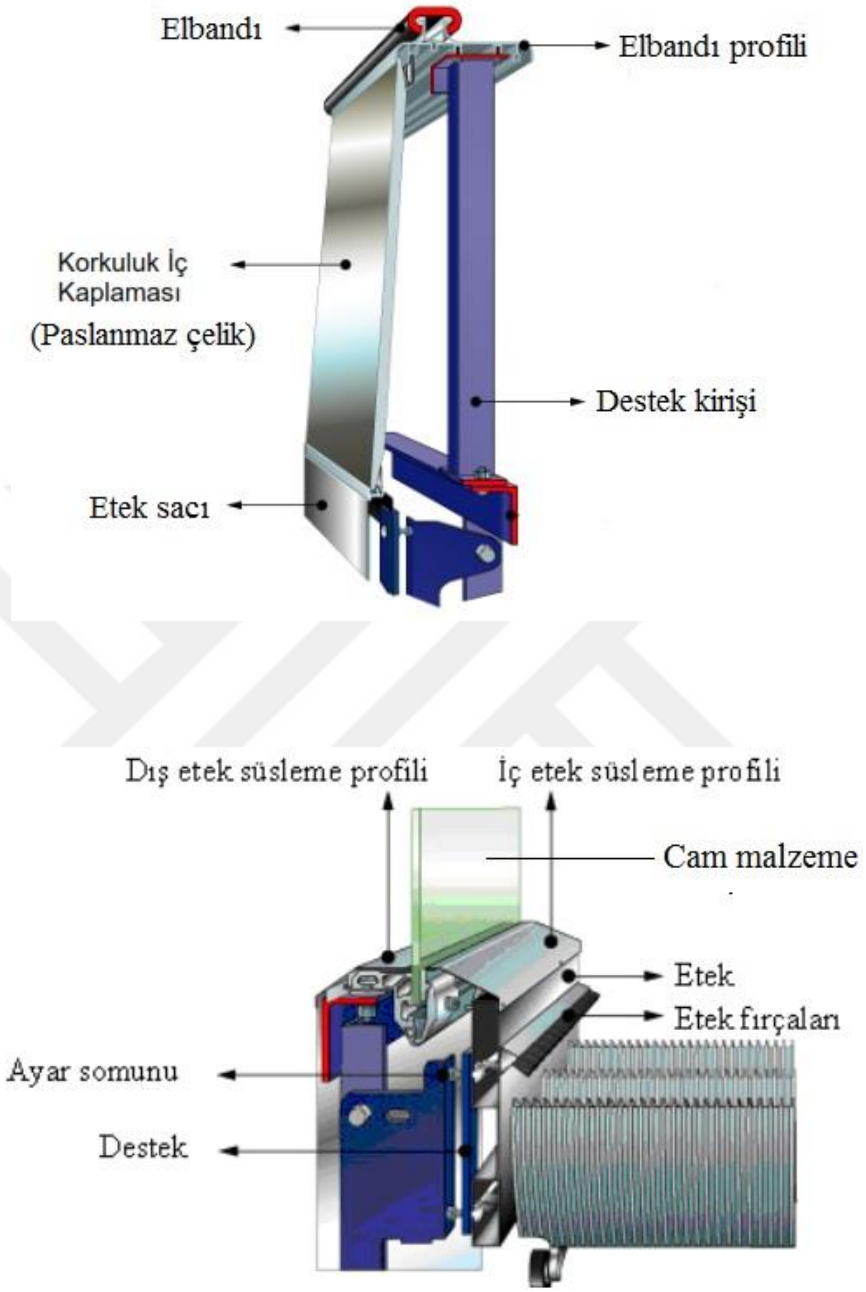


Şekil 2. 24 Alt dönüş istasyonu

2.3.8 Korkuluk ve Etek Sacları

Yürüyen merdiven yan kaplaması paslanmaz sac malzemeden olabildiği gibi cam malzemeden de olabilmektedir (Şekil 2.25). Ağır hizmet tipi merdivenler için sac kaplamalar tercih edilirken, çoğunlukla ticari tip merdivenlerde cam trabzan kullanılmaktadır.

Sac malzeme olarak genelde 304 kalite paslanmaz kullanılabildiği gibi, 403 veya 416 kalite paslanmaz çelik sac malzeme de kullanılabilmektedir. Bu durum yürüyen merdivenin dış ortamda veya bina içinde bulunmasına, bölgenin iklim koşullarına göre değişebilmektedir.



Şekil 2. 25 Metal ve cam küpeşte sistemleri

BÖLÜM 3

STANDARTLAR

Yürüyen merdivenler, yolcular üzerinde iken basamakların ve elbandının sürekli hareket halinde olması sebebiyle işletme esnasında büyük risk oluştururlar. Bu sebeple oluşturulan standartlar ile güvenli çalışma için gerek tasarımsal gerekse de işletmesel olarak bazı kurallar getirilmiştir.

Standartlarda içerik olarak büyük oranda güvenlik konularına değinilse de, boyutsal ve tasarım konularında da tanımlamalar yapılmıştır. Basamak ölçüleri, küpeşte yükseklikleri, frenleme sisteminin özellikleri, tasarımda m^2 başına yük, yine tasarımda kullanılacak emniyet katsayıları, test yöntemleri gibi bir çok konuda detaylar standartlar ile belirtilmiştir.

En yaygın referans olarak alınan standart EN 115-1 Avrupa standardıdır. Ülkemizde de temin, test ve devreye alma işlemlerinde referans olarak alınmaktadır. Diğer bir yaygın standart ise Amerikan ASME A17 standardıdır. Özellikle ABD ve Kuzey Amerika ülkerinde kullanılmaktadır. Yine Amerikan APTA Birliği tarafından yayınlanan transit sistemler için yürüyen merdiven kılavuzu da ABD ve Kuzey Amerika ülkelerinde referans olarak kabul edilmektedir.

Avrupa Birliği Ülkeleri ve ABD'deki standartlara ek olarak Japonya ve Avusturya gibi ülkelerin de yürüyen merdiven özelinde hazırladıkları standartlar bulunmaktadır. Zamanla teknolojik gelişmeler ve tecrübelerle beraber yürüyen merdivenler için enerji konuları, emniyet, bakım gibi konularda da bir çok standart yayınlanmıştır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3. 1 Yürüyen merdivenlerle ilgili standartlar listesi

S.No	Ülke/Birlik	Standart No	Version	Standardın Adı
1	AB	EN 115	2017	Safety of Escalators and Moving Walks
2	ABD	ASME A17	2016	Safety Code for Elevators and Escalators
3	Avustralya	AS 1735	2016	Lifts, Escalators and Moving Walks
4	Japonya	-	-	JEAS, MOC-N ve BSLJ-EO Standart ve Yönetmelikleri
5	ABD	APTA-RT-EE-RP-001-02	2011	Heavy Duty Escalator Design Guidelines
6	AB	ISO 25745-3	2015	Energy performance of lifts, escalators and moving walks – Part 3: Energy calculation and classification of escalators and moving walks
7	AB	ISO 9589	1994	Escalators – Building dimensions
8	AB	ISO 24740-1	2011	Safety requirements for escalators and moving walks – Part 1: Global essential safety requirements(GESR)
9	AB	ISO 14799-1	2015	Comparison of worldwide escalator and moving walk safety standards Part:1 Rule by rule comparison
10	AB	ISO 18738-2	2012	Measurement of ride quality – Part 2: Escalators and moving walks
11	AB	ISO 1498	2009	Lifts(elevators), escalators and moving walks – Risk assessment and reduction methodology
12	AB	ISO 16764	2003	Lifts, escalators and passenger conveyors – Comparison of worldwide standards on electromagnetic interference/electromagnetic compatibility

Çizelge 3. 1 Yürüyen merdivenlerle ilgili standartlar listesi (Devamı)

S.No	Ülke/Birlik	Standart No	Version	Standardın Adı
13	AB	ISO 25741	2008	Lifts and escalators subject to seismic conditions. Compilation report.
14	AB	ISO 22199	2009	Electromagnetic compatibility. Product family standard for lifts, escalators and moving walks. Emission.
15	AB	ISO 22200	2009	Electromagnetic compatibility – Product family standard for lifts, escalators and moving walks Immunity.
16	AB	ISO 8102	2019	Electrical requirements for lifts, escalators and moving walks
17	İngiltere	BS 7801	2011	Escalators and moving walks. Code of practice for safe working on escalators and moving walks
18	İngiltere	BS 5656	2013	Safety rules for the construction and installation of escalators and moving walks

3.1 EN 115 Standardı

Avrupa Birliği ülkelerinde geçerli olan ve yürüyen merdivenlerle ilgili en kapsamlı standarttır. 1995 yılında "EN 115:1995 Safety rules for the construction and installation of escalators and passenger conveyors" olarak yayınlanmıştır. İlgili standart ülkemizde de "TS EN115:1998 Yürüyen Merdiven ve Yürüyen Bantlar – Güvenlik Kuralları, Konstrüksiyon ve Tesisatı" adı altında yayınlanmıştır.

EN 115 standardının da zamanla farklı versiyonları yayınlanmış olup, son olarak 2017 yılında güncellenmiştir. EN 115-1 ve EN 115-2 olmak üzere 2 bölümdür:

- EN 115-1 "Safety of escalators and moving walks – Part 1: Construction and installation"
- EN 115-2 "Safety of escalators and moving walks – Part 2: Rules for the improvement of safety of existing escalators and moving walks"

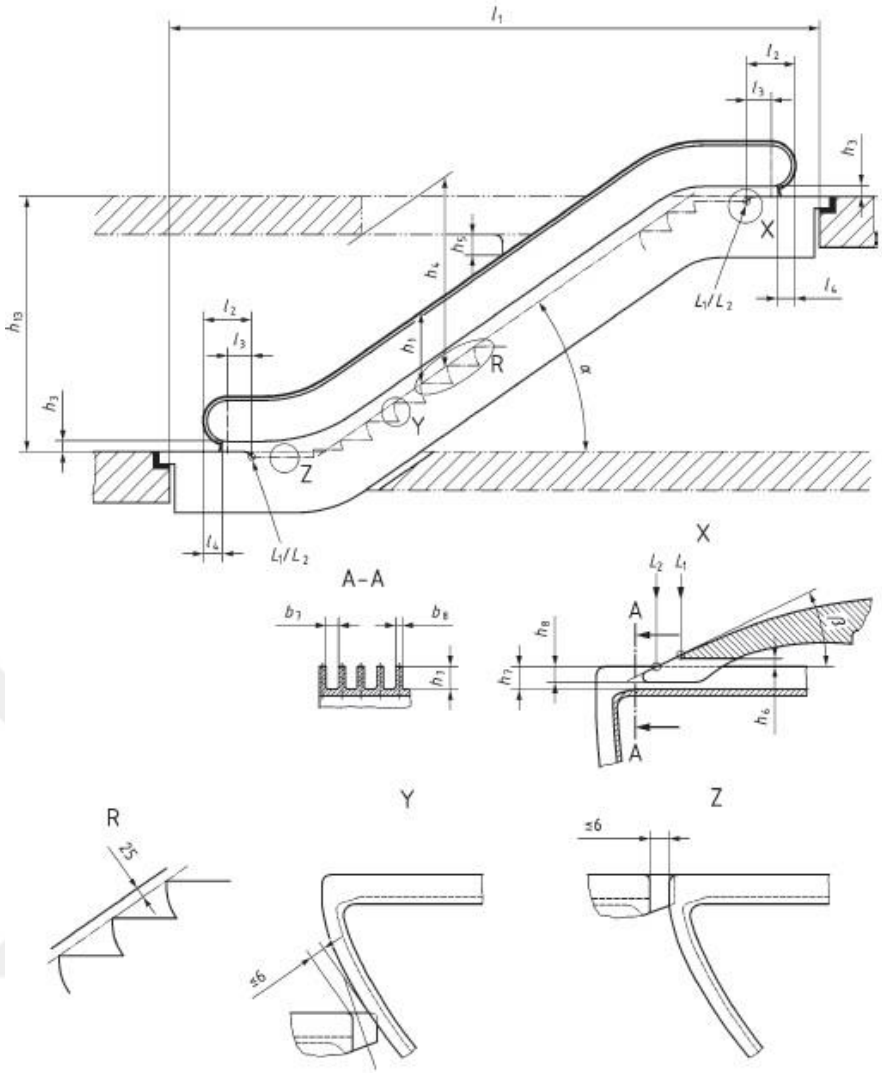
1. Bölümde yeni tasarlanacak yürüyen merdivenler için tasarım, kurulum, boyutsal detaylar, emniyet sistemleri gibi bilgiler yer alırken, 2. Bölümde mecvutta kurulu yürüyen merdivenlerin emniyet sistemlerini iyileştirilmesi ile ilgili bilgiler bulunmaktadır.

EN 115-1 standardında yürüyen merdivenin yapısal olarak kendi ağırlığına ek olarak 5000 N/m^2 'lik bir yükü karşılayabilmesi ve hesaplamanın EN 1993-1:2005 standardına göre yapılacağı belirtilmiştir. Standarda göre bu yükleme durumuna göre yapılan analizlerde elde edilen sehim değeri, yürüyen merdivenin binaya oturduğu alt ve üst noktaları arasındaki yatay mesafenin 1/750 değerinden düşük olmalıdır.

Standartta tüm merdiven boyunca basamak, küpeşte, elbandı, yan korkuluklar gibi parçaların ölçüleri, hareketli ekipmanlar arasındaki boşluklarla ilgili ölçüler ve toleranslar detaylı olarak verilmiştir (Şekil 3.1).

Yürüyen merdivenin gövdesinin yatayla eğim açısı en fazla 30° olarak belirtilmiştir. Yüksekliğin 6 metreye kadar olması ve hızın en fazla 0,5 m/s olması şartıyla 35° eğime izin verilmiştir.

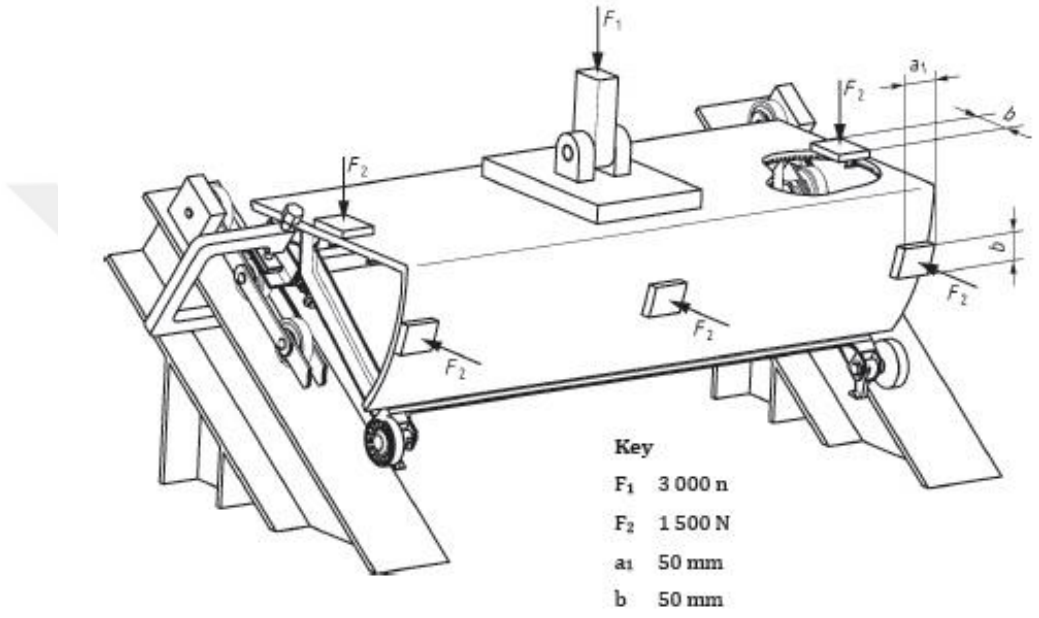
Gerek tasarım hesaplamaları gereksede yolcu konforu açısından önemli olan alt ve üst dönüş eğrilik yarıçap ölçüsünün minimum değerleri de yürüyen merdivenin hızına bağlı olarak verilmiştir. Bu değer üst bölüm için hıza bağlı olarak 1, 1,5 ve 2 metre olarak değişirken, alt bölüm için 1 ve 2 metre olarak değişmektedir.



Principal dimensions	Clause	Principal dimensions	Clause
b_7 5 mm to 7 mm (step treads and pallets)	5.3.2.2.5	$h_8 \geq 4$ mm	5.7.3.3.1
b_7 4,5 mm to 7 mm (belts)	5.3.2.3.2	h_{13} Rise	-
b_8 2,5 mm to 5 mm (step treads and pallets)	5.3.2.2.7	L_1 Root of the comb teeth	-
b_8 4,5 mm to 8 mm (belts)	5.3.2.3.4	L_2 Comb intersection line	-
h_1 0,90 m to 1,10 m	5.5.2.1	l_1 Distance between supports	-
h_3 0,10 m to 0,25 m	5.6.4.1	$l_2 \geq 0{,}60$ m	5.5.4.1
$h_4 \geq 2{,}30$ m	A.2.1	$l_3 \geq 0{,}30$ m	5.5.4.2
$h_5 \geq 0{,}30$ m	A.2.4	$l_4 \geq 0{,}30$ m	5.6.4.2
$h_6 \leq 4$ mm	5.7.3.3.2	α Angle of inclination	
$h_7 \geq 10$ mm (step treads and pallets)	5.3.2.2.6	$\beta \leq 35°$	5.7.3.2.3
$h_7 \geq 5$ mm (belts)	5.3.2.3.3		

Şekil 3. 1 Yürüyen merdiven yan görünüş prensip ölçüleri [13]

Ayrıca standartta alt ekipmanların çalışma esnasında maruz kaldıkları koşullar ve yükleme durumlarına göre oluşan etkilerin sınır koşullar içinde kaldığının tespiti için yapılacak deneysel yöntemler de gösterilmiştir. Şekil 3.2'de basamak için test düzeneği ve test yöntemi verilmiştir. Burada uygulanan toplam 6000 N/m^2 yük değeri, yapısal tasarımda kullanılan 5000 N/m^2 yük değerinin darbe faktörüyle (1,2) çarpılması sonucu elde edilir. Bu test ile yük altında basamak ve ona bağlı tekerleklerdeki yer değişimi durumu, burulma ve olası hasar durumları incelenmekdedir.



Şekil 3. 2 Basamak test düzeneği [13]

Yürüyen merdiven çalışma hızı 0,5 ve 0,65 m/s olabileceği gibi, en fazla 0,75 m/s olarak belirtilmiştir.

Standartta tahrik sistemi elemanlarının (zincirler, akslar, dişliler, vb.) tasarım hesaplamalarında emniyet katsayısının en az 5 olacağı tanımlanmıştır.

Yürüyen merdivende kullanılan elektro-mekanik fren için, fren yükü hesabında kullanılacak basamak yükü değerleri ve çalışma hızına bağlı olarak durma mesafeleri tablolar halinde verilmiştir. 6 metreden daha yüksek yürüyen merdivenler için ikinci bir fren (yardımcı fren) sistemi gerekmektedir. Transit sistemlerde kullanılan (ağır hizmet) yürüyen merdivenler için standardın Ek H bölümünde yüksekliği 6 metrenin altındaki merdivenler için de yardımcı fren konulması gerektiği tavsiye edilmektedir.

Yine Ek H kısmında hıza ve basamak genişliğine bağlı olarak yürüyen merdivenin taşıyabileceği saatlik yolcu sayıları verilmiştir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3. 2 Maksimum yolcu kapasitesi [13]

Basamak Genişliği (m)	Nominal Çalışma Hızı (m/s)		
	0,50	0,65	0,75
0,60	3.600 kişi/saat	4.400 kişi/saat	4.900 kişi/saat
0,80	4.800 kişi/saat	5.900 kişi/saat	6.600 kişi/saat
1,00	6.000 kişi/saat	7.300 kişi/saat	8.200 kişi/saat

Standardın diğer bölümlerinde iç ve dış kaplama malzemeleri, etek sacı, elbandı sistemi, alt ve üst kuyu ekipmanları, aydınlatma, kurulum, yangın güvenliği, elektrik tesisatı, kontrol sistemi, emniyet siviçleri gibi konularda açıklamalar bulunmaktadır.

Genelde tasarım ve emniyet sistemleri ile ilgili olan bu standarda ek olarak başka standartlar da türetilmiştir. Bina içine montajı, enerji performansı, elektromanyetik uyumluluk, güvenlik gereklilikleri, enerji verimliliği, titreşim durumu gibi bir çok başlıkta standartlar bulunmaktadır (Çizelge 3.1).

3.2 ASME A17 Standardı

Asansör ve yürüyen merdiven icadı ve kullanımı ilk olarak Amerika'da gerçekleşmesi sebebiyle ilk standartlar da bu ülkede çıkarılmıştır. İlk standart ASME tarafından "A-17 code – American elevator and escalator safety code" adı altında yayımlanmıştır. Yürüyen merdivenlerin tasarımı, konstrüksiyonu, kurulumu, işletmesi, muayene ve testleri, bakımı ve tamiri gibi bir çok konuda hüküm içeren bu standart teknolojik gelişmeler, yeni veriler ve değişen endüstri ihtiyaçları gibi faktörlerin etkisiyle ara dönemlerde güncellenerek günümüze kadar gelmiştir. Zamanla standart 3 bölüme ayrılmış ve en son versiyonları aşağıdaki şekilleriyle yayınlanmıştır:

- ASME A17.1-2016 "Safety Code for Elevators and Escalators"

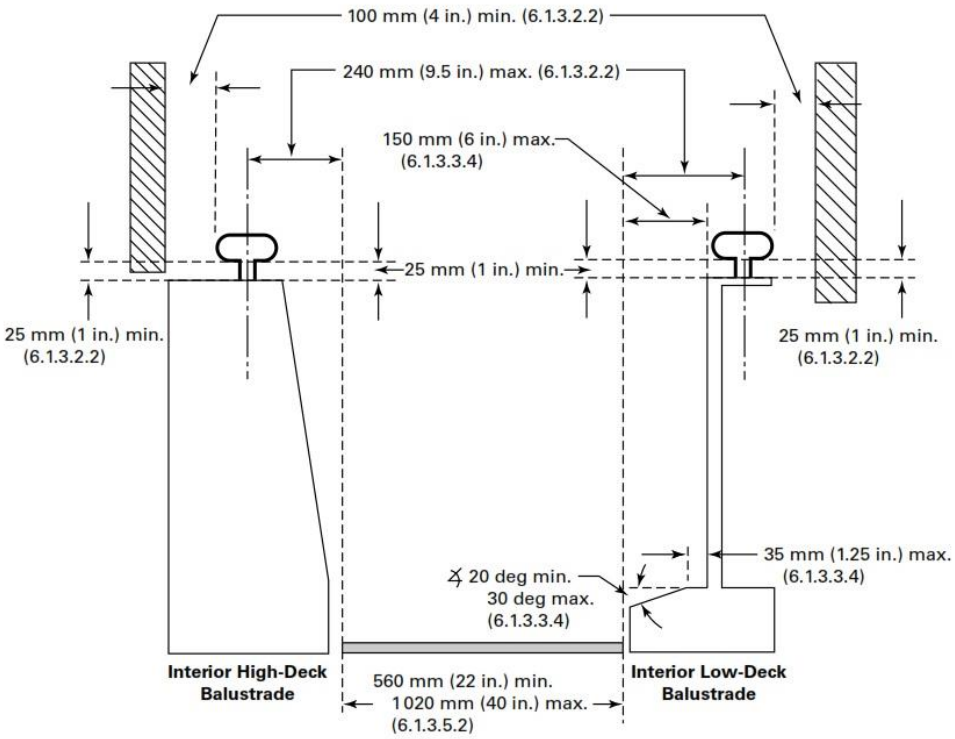
- ASME A17.2-2017 “Guide for Inspection of Elevators, Escalators and Moving Walks”
- ASME A17.3-2017 “Safety Code for Existing Elevators and Escalators”

Standardın A17.1 nolu bölümünde asansör ve yürüyen merdivenlerlerin tasarımı, yapısı, kurulumu gibi konularda hükümler yer alırken, A17.2 nolu bölüm ise ekipmanın muayenesi ve test yöntemleri için önerilen prosedürleri içerir.

A17.3 nolu bölüm, mevcut kurulu asansör ve yürüyen merdivenler için geriye dönük gereksinimleri kapsar. Kurulum tarihine bakılmaksızın tüm ekipmanlar için asgari gereklilikleri içerir.

Standartta yangın, güvenlik, bina içi yerleşim gibi konularda NFPA standartlarına atıf yapılmaktadır.

Bu standart asansörlerle ilgili kuralları da içermekle beraber, standart içerisinde asansörlere kıyasla yürüyen merdivenler için daha az detay bulunmaktadır. Standart içeriğinde daha çok boyutsal ölçüler (Şekil 3.3), korkuluk sistemleri (montaj vs.) ve emniyet sistemleri ile ilgili hükümler verilmiştir.



Şekil 3. 3 A17.1 standardı yürüyen merdiven kesit görünüşü ve boyutsal ölçüler [14]

3.3 Diğer Ülke Standartları

Avrupa Birliği ve ABD normlarına ek olarak Japonya'da da yürüyen merdiven tasarım ve emniyet sistemleri ile ilgili Japon Asansör Standartları Birliği (JEAS) ve Japonya Şehircilik Bakanlığı (MOC-N) tarafından yayınlanan standart ve yönetmelikler bulunmaktadır. Yine Bina Standardı Yasası Uygulama Yönetmeliğinde (BSLJ-EO) ilgili gereklilikler belirtilmiştir.

Bir başka ulusal standartta Avustralya AS 1735 "Lifts, Escalators and Moving Walks" standardıdır. Standardın 5. Bölümünde yürüyen merdiven ve yürüyen bantlarla ilgili hükümler yer almaktadır.

ISO/TR 14799-1:2015 "Comparison of worldwide escalator and moving walk safety standards Part:1 Rule by rule comparison" standardında ASME A17.1 standardı, EN 115-1 standardı ve Japon stardartları arasında madde madde kıyaslama yapılıp, farklılıklar ortaya konulmuştur.

3.4 Amerikan APTA Kılavuzu

Yukarıda bahsedilen standartlar genellikle boyutsal ölçüler ve emniyet sistemleri ile ilgili detaylar içermektedir. Hesap yöntemleri ve tasarım kriterleri ile ilgili fazla detay yer almamaktadır. Standartlarda ticari ve ağır hizmet tipi yürüyen merdivenlerin her ikisini de kapsayacak şekilde asgari gereklilikler belirtilmektedir.

Amerikan Toplu Taşıma Birliği (APTA) tarafından yayımlanan "APTA-RT-EE-RP-001-02 Heavy-Duty Transportation System Escalator Design Guidelines" kılavuzunda, transit sistemlerde kullanılacak ağır hizmet tipi yürüyen merdivenler için gerekli tasarım detayları verilmiştir. Bu kılavuz ile ağır hizmet tipi yürüyen merdivenler, ticari tip yürüyen merdivenlerden ayrılarak tasarımda daha ağır koşullar getirilmiştir.

Bu kılavuz Kuzey Amerika ülkelerinde ulaşım sistemlerinde kullanılan yürüyen merdivenler için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kılavuzda yürüyen merdivenin 7 gün 24 saat durmadan çalışacağı öngörülerek, gün içinde 3 saat %100 yükte, 6 saat %50 yükte, 15 saat %25 yükte çalışacağı kabul edilerek tasarımın yapılacağı belirtilmektedir.

Çalışma hızı 0,5 m/s olarak belirtilmiştir.

Yürüyen merdivenin basamak genişliği sadece 1000 mm veya 800 mm olarak, eğim açısı da en fazla 30° olarak belirtilmiştir. EN 115-1 standardında basamak genişliği 600 mm'de olabilmekte ve eğim açısına da 35° 'ye kadar olanak tanınmaktadır.

APTA kılavuzunda motor gücü ve basamak zinciri hesaplamalarında basamak başına (1000 mm basamak için) yük 145 kg alınacağı, statik fren hesabında 306 kg alınacağı belirtilmiştir.

Etek ve yan kaplama sacları içinde EN115-1 standardında malzeme kalitesi belirtilmemişken, APTA kılavuzunda bu sacların 316 kalite paslanmaz ve en az 2 mm kalınlığında olacağı belirtilmiştir. Ülkemizde ve Avrupa ülkelerindeki genel uygulamada 403 veya 304 kalite paslanmaz sac malzeme kullanılmaktadır.

APTA'da zincir pim basıncı değeri, alt ekipmanların minimum ömür değerleri, yük hesaplamalarındaki basamak başına yük miktarı gibi bir çok detay verilmişken, ASME A17.1 ve EN 115-1 standartlarında tanımlamalar daha genel yapılmış, alt ekipman tasarım değerleri üretici ve müşterilerin insiyatifine bırakılmıştır.

BÖLÜM 4

HESAPLAMALAR

Yürüyen merdivenin boyutlandırma ve alt ekipman hesaplamaları için, çalışma esnasında maruz kaldığı yüklerden kaynaklanan gerilmelerin hesaplanması gerekir. Boyutlandırma ve mukavemet hesaplarında kullanılan toplam yük ise; yolcular, basamaklar ve basamak zincirlerinin ağırlıklarının toplamıyla elde edilir.

Hesaplamalar için standartlarca belirlenmiş veya üretici firmalarca geliştirilmiş formüller de kullanılmaktadır. Bu hesaplamalarda tecrübe ile elde edilmiş bazı katsayılardan yararlanılmaktadır.

4.1 ISO 25745-3:2015 Standardı Kullanılarak Motor Gücü Hesabı

ISO 25745-3:2015 “Energy performance of lifts, escalators and moving walks – Part 3 Energy calculation and classification of escalators and moving walks” standardında yürüyen merdivenin tahrik sisteminin çalışması için gerekli olan motor gücünün nasıl hesaplanacağı formüle edilmiştir [3].

Standardın 5.2 maddesinde yürüyen merdiven güç tüketim hesabı için elbandı mekanizması ve hareketli ekipman yüklerinden (basamak ve basamak zinciri ağırlıkları) kaynaklanan güç tüketimi değerleri ayrı ayrı formüllerle verilmiştir. Yürüyen merdivenin elektrik ve kontrol sisteminin güç tüketim değeri, referans değerler tablosunda (Çizelge 4.1) ayrıca belirtilmiştir. Yolcu yükünden kaynaklanan güç değerinin de bu üç değere eklenmesiyle toplam güç miktarı elde edilir.

Elbandı mekanizmasının çalışması için gerekli güç miktarı;

$$P_{elbandı} = \frac{2 \cdot \cos(\alpha) \cdot \left(A \cdot \frac{H}{\tan(\alpha)} + B \right) \cdot v}{1000 \cdot \eta} \quad \text{[kW]} \tag{4.1}$$

Basamak aksamının (basamak ve basamak zinciri) ağırlığı için gerekli güç miktarı;

$$P_{basamak} = \frac{\left[\left(2 \cdot \left(\frac{m_b}{D} + 2 \cdot m_z \right) \cdot \frac{9,81}{1000} \cdot \mu_{sb} \cdot \frac{H}{\tan(\alpha)} + C \right) \cdot v \right]}{\eta} \quad \text{[kW]} \tag{4.2}$$

Taşınan yolcu ağırlığı için gerekli güç miktarı;

$$P_{yolcu} = \frac{(\psi \cdot E \cdot m \cdot 9,81 \cdot H \cdot v)}{1000 \cdot 0,4 \cdot \eta} \cdot \left(1 + \frac{\mu_{sb}}{\tan(\alpha)} \right) \quad \text{[kW]} \tag{4.3}$$

Burada;

α : Eğim açısı

H : Yürüyen merdivenin giriş ve çıkış noktaları arasındaki düşey yükseklik [m]

v : İşletme hızı [m/s]

η : Sistem verimi

m : Yolcu kütlesi [kg/yolcu]

m_b: Basamak kütlesi [kg/adet]

m_z: Bir metre zincirin kütlesi [kg/m]

A : Uzunluğa bağlı yataya göre normalize edilmiş elbandı çekme kuvveti [N/m]

B : Elbandı çekme kuvvetinin yataya göre normalize edilmiş sabit değeri [N]

C : Basamak mekanizmasının ters tahrik kuvvetinin sabit değeri [kN]

D : Basamak derinlik değeri [m]

ψ : Doluluk faktörü

E : Basamak başına yolcu sayısı (1000 mm genişlik için 2 kişi)

μ_{sb}: Basamak mekanizması için sürtünme katsayısı

Tahrik sistemine etki eden basamak ağırlığı, basamak zinciri ağırlığı ve yolcu ağırlıkları için elde edilen bu güç değerleri toplanarak yürüyen merdiven için gerekli motor gücü değeri elde edilmiş olur [3];

$$P_{Toplam} = P_{elbandı} + P_{basamak} + P_{yolcu} + P_{K.sistemi} \quad [kW] \qquad (4.4)$$

Burada $P_{K.sistemi}$ değeri, yürüyen merdivenin elektrik ve kontrol aksamı için gerekli olan güç değeridir.

A, B , C ve D değerleri ISO 25745-3:2015 standardındaki referans değerler tablosunda (Çizelge 4.1) verilmiştir.

Çizelge 4. 1 ISO 25745-3:2015 standardı referans değerler tablosu [3]

	Escalator $v < 0{,}65$ m/s **all inclinations**	**Escalator** $v \geq 0{,}65$ m/s[a] **all inclinations**	**Inclined moving walk** $\alpha > 3°$ to $12°$	**Horizontal moving walk** $\alpha = 0°$ to $3°$	**Unit**
A	9	5	4	5	N/m
B	400	400	400	300	N
C	0,1	0,1	0,1	0,1	kN
D	0,405	0,405	0,405	0,405	m
$\eta_{no\ load}$	0,3	0,25	0,34	0,4	—
$\mu_{SB/PB}$	0,05	0,05	0,05	0,05	—
$m_{SB/PB}$	14	14	14	14	Kg
m_{chain}	5,5	7	5,5	5,5	kg/m
$P_{no_load_control}$	0,4	0,4	0,4	0,4	kW
[a] Escalators with speed ≥0,65 m/s and 0,75 m/s as normally used in public transport applications.					

8 m yükseklik, 1 m basamak genişliği, 0,65 m/s hızı olan yürüyen merdivenin ISO 25745-3:2015'e göre motor gücü hesabı aşağıda verilmiştir;

H : 8 [m]

v : 0,65 [m/s]

∝ : 30° (eğim açısı)

m : 75 [kg]

m_b : 12,5 [kg/adet]

m_z : 9,6 [kg/m]

D : 0,405 [m]

η_{sistem} : 0,92

μ_{sb} : 0,05

A : 5 [N/m]

B : 400 [N]

C : 0,1 [kN]

A, B, C, D ve $P_{K.sistemi}$ değerleri 0,65 m/s hızla hareket eden yürüyen merdiven için Çizelge 4. 1'den alınır.

Elbandı mekanizmasının çalışması için gerekli güç miktarı denklem (4.1)'den;

$$P_{elbandı} = \frac{2 \cdot \cos(30°) \cdot \left(5 \cdot \frac{8}{\tan(30°)} + 400\right) \cdot 0,65}{1000 \cdot 0,92}$$

$P_{elbandı} = 0,57$ [kW] olarak bulunur.

Basamak aksamının (basamak ve basamak zinciri) ağırlığı için gerekli güç miktarı denklem (4.2)'den;

$$P_{basamak} = \frac{\left[\left(2 \cdot \left(\frac{11,5}{0,405} + 2 \cdot 9,5\right) \cdot \frac{9,81}{1000} \cdot 0,05 \cdot \frac{8}{\tan(30°)} + 0,1\right) \cdot 0,65\right]}{0,92}$$

$P_{basamak} = 0,51$ [kW] olarak bulunur.

Taşınan yolcu ağırlığı için gerekli güç miktarı denklem (4.3)'den;

$$P_{yolcu} = \frac{(1 \cdot 2 \cdot 75 \cdot 9,81 \cdot 8 \cdot 0,65)}{1000 \cdot 0,4 \cdot 0,92} \cdot \left(1 + \frac{0,05}{\tan(30°)}\right)$$

$P_{yolcu} = 21,57$ [kW] olarak bulunur.

Yürüyen merdivenin tahriği için gerekli olan motor gücü değeri denklem (4.4)'den;

$$P_{Toplam} = P_{elbandı} + P_{basamak} + P_{yolcu} + P_{K.sistemi}$$

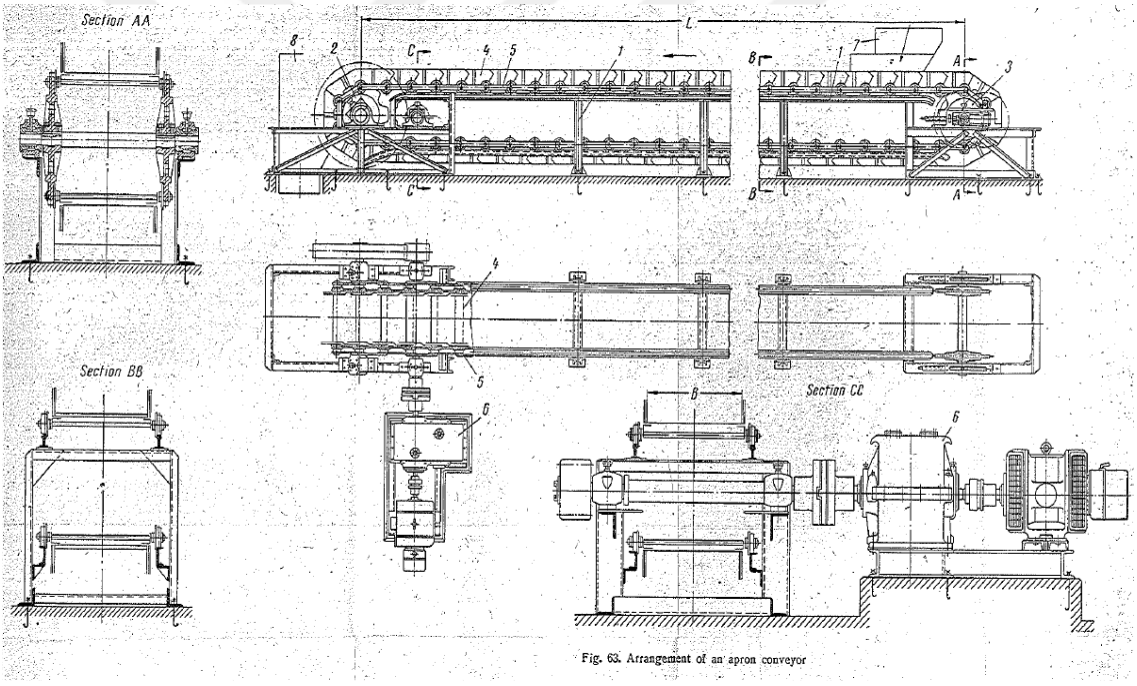
$$P_{Toplam} = 0,57 + 0,51 + 21,57 + 0,4$$

$P_{Toplam} = 23,05$ [kW] olarak bulunur.

ISO 25745-3:2015 standardında verilen formüller kullanılarak, yürüyen merdivenin basamak zinciri, elbandı mekanizması ve kontrol sistemi için ihtiyaç duyulan toplam güç miktarı 23,05 kW olarak bulunmuştur.

4.2 Klasik Yöntemle Motor Gücünün Hesaplanması

Yürüyen merdivenler aslında apron tipi konveyör sistemleridir. Kılavuz raylar üzerinde taşıyıcı zincirlere bağlı tekerleklerin tahrik sistemi ile hareketi sağlanarak, yükün bir noktadan başka bir noktaya iletilmesi söz konusudur. Şekil 4.1'de klasik bir apron konveyör sisteminin kesit görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4. 1 Bir apron konveyörün şematik gösterimi [15]

Dolayısıyla yürüyen merdiven üzerinde oluşan yükleri hesaplarken konveyörler için kullanılan hesaplamalardan yararlanılabilir.

Bunun için konveyör sistemlerindeki nontadan noktaya tekniği uygulanarak; basamaklar, basamak zinciri ve yolcu ağırlıklarından kaynaklanan gerilme değerleri

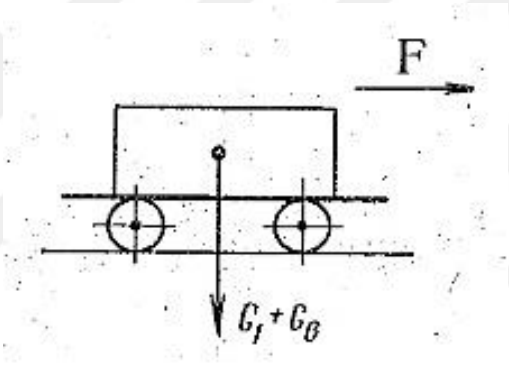
bulunur. Böylece hesaplamalarda kullanılacak zincir dişlisi üzerine etkiyen çevresel kuvvet bulunmuş olur.

Elbandı mekanizmasının tahriki için gerekli güç değeri de yine noktadan noktaya tekniği ile elde edilir.

4.2.1 Basamak Zincir Kuvvetlerinin Hesabı

Yürüyen merdivenin hareketli aksamlarının ağırlılıkları toplamı G_0 ve taşınan yük yani yolcu ağırlığı da G_1 olarak kabul edilirse, yürüyen merdivenlerin görünür basamakları üzerindeki yükleme durumları aşağıdaki şekilde değerlendirilebilir.

Toplam yük miktarı ($G_0 + G_1$) olmak üzere , yatay ve eğimli yüzeylerde etkiyen kuvvetler aşağıdaki şekilde bulunur [15] ;

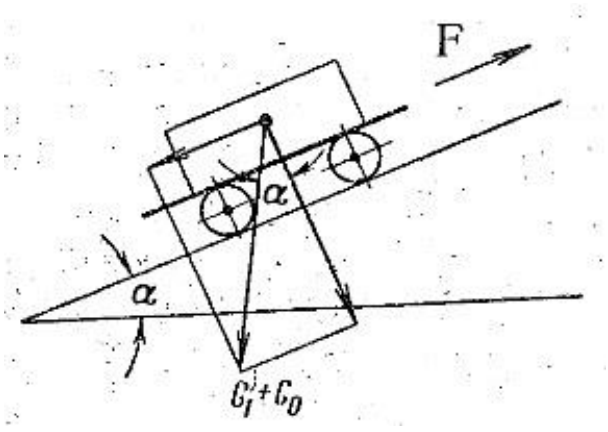


Şekil 4. 2 Yatay bölümdeki harekette yük durumu [15]

Yatay düzlemde hareket esnasında etkiyen kuvvet [15];

$$F_{yatay} = (G_1 + G_2) \cdot w \qquad (4.5)$$

denklemi ile elde edilir.



Şekil 4. 3 Eğimli yüzeydeki yük durumu [15]

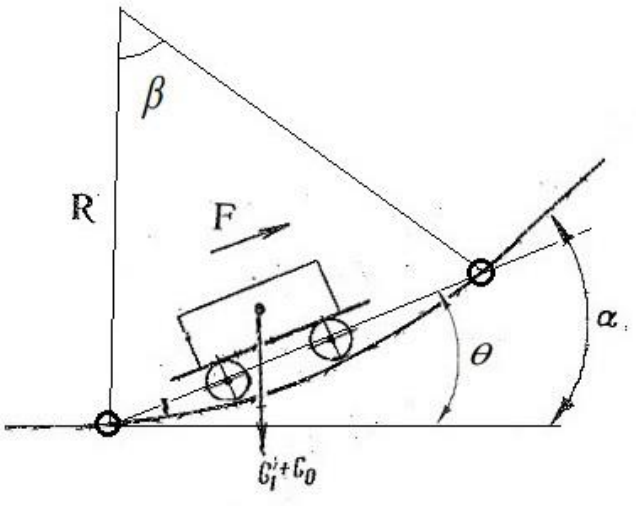
Eğimli yüzeyde (Şekil 4.3) hareket esnasında etkiyen kuvvet [15];

$$F_{eğim} = F_y + F_s = \pm\left(G+G_0\right).\sin\alpha + \left(G+G_0\right)\cdot\cos\alpha\cdot w$$

$$F_{eğim} = \left(G+G_0\right).\left(\pm\sin\alpha + \cos\alpha\cdot w\right) \qquad (4.6)$$

denklemi ile elde edilir. Burada; F_y : Yararlı direnç kuvveti, F_s : Sürtünme direnç kuvveti

(4.6) nolu denklemde yukarı doğru hareket için (+) işareti, aşağı doğru harekette ise (-) işareti kullanılır.



Şekil 4. 4 Alt eğrilik bölgesindeki yük durumu

Yürüyen merdiven üzerinde düz bölümlerden eğimli kısma geçiş bölgelerinde (eğrilik kısımları) oluşan yük durumu Şekil 4.4'de verilmiştir.

Eğrilik bölümündeki (Şekil 4.4) hareket esnasında etkiyen kuvvet [7];

$$F_{yay} = \left(G_0 + G_1\right) \cdot \left(\pm \sin\theta \pm w \cdot \cos\theta\right) \cdot R \cdot \frac{e^{w \cdot \beta} - 1}{w} \tag{4.7}$$

denklemi ile elde edilir. Denklemdeki (sinθ)'nın işareti hareket yukarı yönlü ise (+), aşağı yönlü ise (-) alınır. (w.cosθ) ifadesinin işareti ise iç bükey yayda (-), dış bükey yayda (+) olarak alınır [7].

(4.5), (4.6) ve (4.7) nolu denklemlerde kullanılan w, harekete karşı direnç katsayısısıdır. Zincir tekerleklerinin doğrusal hareketine karşı raylar üzerindeki direnç katsayısı;

$$w = \frac{C_t \cdot \left(\mu_1 \cdot d_1 + 2 \cdot k_t\right)}{D_1} \tag{4.8}$$

denklemi ile elde edilir [7].

Burada;

C_t : Kılavuz ray üzerinde ilerleyen zincir tekerlekleri için sürtünme katsayısı

μ_1 : Zincir tekerleği ile tekerlek şaftı arasındaki rulmandaki sürtünme katsayısı

k_t : Tekerlekler için yuvarlanma sürtünme katsayısı

d_1 : Basamak ana tekerlek şaftının çapı [cm]

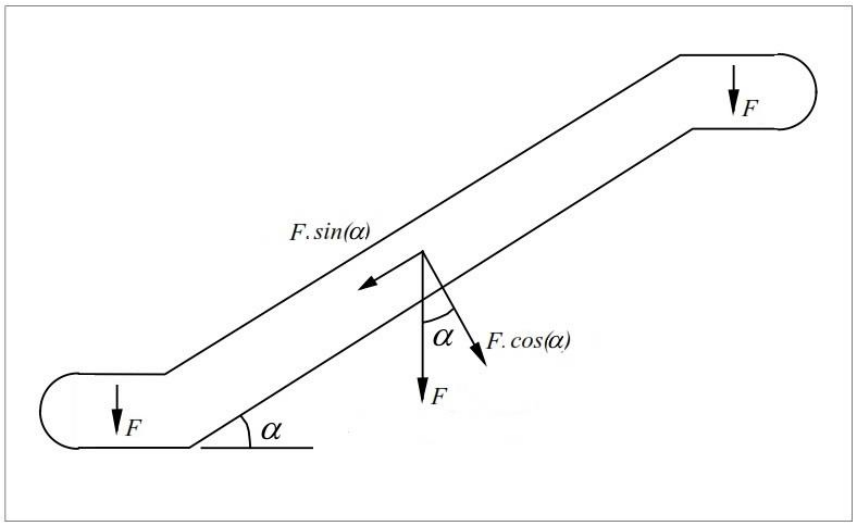
D_1 : Basamak ana tekerlek çapı [cm]

Zincir tekerleklerinin raylar üzerindeki hareketine karşı direnç katsayısı yukarıda verilen formülden bulunur veya apron konveyörler için hazırlanmış aşağıda verilen Çizelge 4.2'den alınabilir.

Çizelge 4. 2 Tekerlek mekanizması ile hareket eden zincirler için direnç katsayıları [15]

Konveyorün Çalışma Koşulları	Makaralar için w katsayısı	
	Kaymalı Yataklarda	Bilyalı Yataklarda
Uygun	0,06 - 0,08	0,02
Orta	0,08 – 0,10	0,03
Kötü	0,10 – 0,13	0,04

Basamaklar, basamak zinciri ve yolcu yükünden dolayı, yürüyen merdivenin yatay ve eğimli kısımlarında oluşan kuvvetler Şekil 4.5'de görülmektedir.



Şekil 4. 5 Yürüyen merdiven üzerine etkiyen yükler

Yürüyen merdiven hesaplamalarında yük ve direnç değişken olduğundan, yürüyen merdivenin hareket yolu boyunca tüm kısımlara etki eden yük ve harekete karşı direnç ayrıca belirlenir.

Öncelikle yürüyen merdivenin hareketli aksamının ağırlığından dolayı oluşan yükler belirlenir.

Basamakların ağırlığından dolayı metre başına düşen yük;

$$q_{basamak} = \frac{m_b \cdot g}{t_b} \tag{4.9}$$

Burada;

m_b : Basamak kütlesi [kg]

t_b : Basamak derinlik ölçüsü [m]

g : Yerçekimi ivmesi [m/s^2]

Basamak zinciri ağırlığından dolayı metre başına düşen yük;

$$q_{zincir} = m_z \cdot g \tag{4.10}$$

m_z : Bir metre basamak zincirinin kütlesi [kg]

Yolcu ağırlığından dolayı metre başına düşen yük;

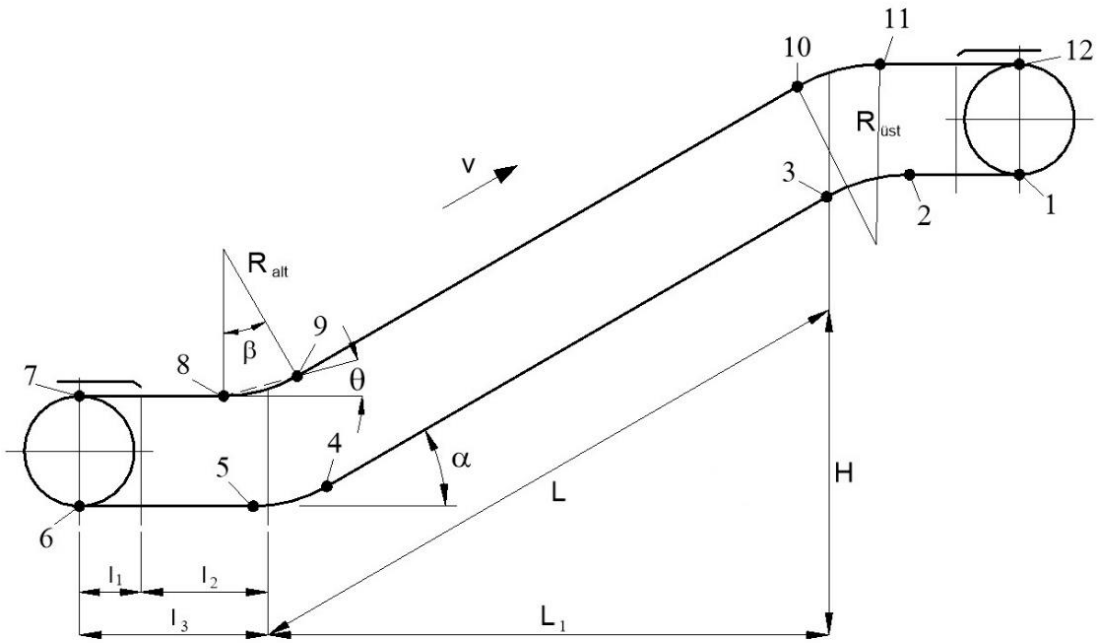
$$q_{yolcu} = \frac{\psi \cdot E \cdot m \cdot g}{t_b} \tag{4.11}$$

ψ : Doluluk faktörü

m : Yolcu kütlesi [kg/yolcu]

E : Basamak başına yolcu sayısı

Motor, basamak zinciri, ana tahrik mili, fren gibi alt ekipmanlarının kapasite ve boyutlarının belirlenmesi için yürüyen merdivenin maruz kaldığı yüklerin belirlenmesi gerekir. Bunun için de zincir konveyör sistemi tasarımında kullanılan yöntemle, yani en düşük gerilmenin bulunduğu noktadan başlayıp hareket yörüngesinin ayrı bölümlerindeki dirençleri belirleyerek hesaplamalar yapılır.



Şekil 4. 6 Yürüyen merdivenin şematik gösterimi ve yük noktaları

Şekil 4.6'daki çizimde de görüldüğü üzere, alt ve üst zincir dişlisine sarılma bölgeleri, alt ve üst dönüş istasyonlarındaki düz bölümler, yatay kısımla eğimli kısmın bileştiği bölgeler ve eğimli bölgelerde ayrı dirençler ve buna bağlı yükler söz konusudur. Dolayısıyla basamak zinciri güzergahı boyunca farklı alanlar belirlenerek, bu bölgelerdeki gerilmeler hesaplanır.

Zincirin dişli üzerinde hareket ederken oluşan direnç aşağıda verilen formülle [7] bulunur;

$$k_{dişli} = 1 + \frac{2}{D_{bd}} \cdot \left(\sin\left(\frac{\alpha_{sr}}{2} \right) \cdot d_2 \cdot \mu_2 + d_3 \cdot \mu_3 \right) \tag{4.12}$$

$$D_{bd} = \frac{p}{\sin\left(\frac{180^\circ}{z} \right)} \tag{4.13}$$

Burada;

$k_{dişli}$: Dönüş direnç katsayısı

α_{sr} : Basamak zincirinin dönüş dişlisini sarma açısı (180˚)

D_{bd} : Basamak zincir dişlisinin taksimat dairesi çapı [cm]

p : Basamak zincirinin adım ölçüsü [cm]

z : Basamak zincir dişlisinin diş sayısı

d_2 : Basamak zincir dişlisi şaftının çapı (cm)

d_3 : Basamak zinciri pim çapı (cm)

μ_2 : Zincir dişlisi ile şaft arasındaki rulmanın sürtünme katsayısı

μ_3 : Zincir bağlantılarındaki sürtünme katsayısı

Şekil 4.6'da şematik olarak gösterilen yürüyen medivenin basamak zincir mekanizması konveyör sistemi gibi düşünüldüğünde en düşük gerilme değeri, yolcu yükünün bulunmadığı 1 veya 5 noktasında söz konusudur. Eğer ilgili bölgelerdeki gerilmeler için;

$q_0 \cdot (l_3 + L_1) \cdot w > H \cdot q_0$ eşitliği söz konusu ise en düşük gerilme 1 noktasında [15],

$q_0 \cdot (l_3 + L_1) \cdot w < H \cdot q_0$ eşitliği söz konusu ise en düşük gerilme 5 noktasındadır [15].

Direnç katsayısı (w) değeri Çizelge 4.2'den uygun yağlama koşullarında bilyalı yataklar için 0,02 olarak alınır.

H:8 m, l_3=1,5 m, L_1=16 m olarak alındığında;

$$q_0 \cdot (l_3 + L_1) \cdot w = q_0 \cdot (1{,}5+16) \cdot 0{,}02 = 0{,}35 \cdot q_0$$

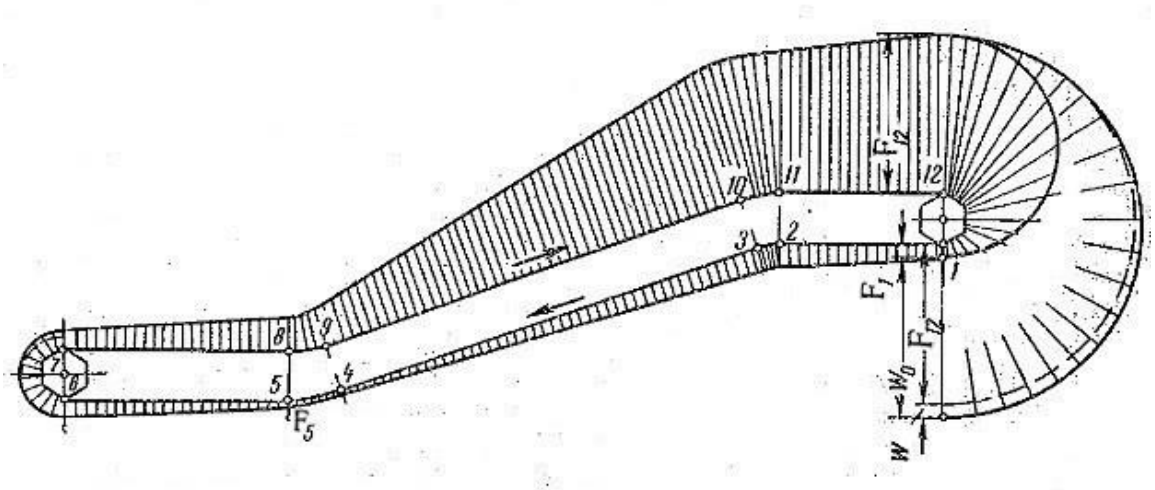
$$H \cdot q_0 = 8 \cdot q_0$$

$$0{,}35 \cdot q_0 < 8 \cdot q_0$$

sonucu elde edilir ve böylece basamak zinciri üzerindeki en düşük gerilme değerinin 5 noktasında oluştuğu kabul edilir (Şekil 4.6).

Basamak zinciri üzerindeki en düşük gerilme olarak, alt dönüş istasyonunda zincire uygulanan ön-gerilme değeri alınabilir. Bu değerde genellikle 1 ila 3 kN arasındadır [7] [15]. Bu çalışmada bu değer 2,5 kN olarak alınacaktır.

Basamak zinciri üst dönüş tahrik dişlisindeki kuvveti hesaplayabilmek için F_{12} ve F_1 değerlerinin hesaplanması gerekir. Belirtilen kuvvetleri hesaplayabilmek için en düşük gerilme değerinin bulunduğu 5 noktasından başlayarak, konveyör sistemlerine benzer şekilde bölgesel oluşan yükler birbirine eklenerek veya çıkarılarak gerekli işlemler yapılır (Şekil 4.7).



Şekil 4. 7 Basamak zinciri güzergahı boyunca gerilme dağılımı [15]

Belirlenen noktalar arasında (Şekil 4.6) basamak ve zincir yükü, yolcu yükü, sürtünme ve dönüş faktörleri kullanılarak zincir üzerinde meydana gelen maksimum kuvvetin bulunduğu 12 noktasına ulaşılır. Bu değeri etkileyen en önemli parametre merdiven yüksekliğidir.

Basamak zincirleri üzerindeki maksimum gerilme değeri yukarı yönde çalışma esnasında oluşacağından, yürüyen merdivenin yukarı yönde çalıştığı kabul edilmiştir.

İlk olarak 5 noktasından 6 noktasına kadar etki eden yükler dikkate alınarak, 6 noktasındaki gerilme değeri bulunur. 5 ile 6 noktaları arasında, basamak ve zincir ağırlığından kaynaklanan gerilme söz konusudur.

$$F_6 = F_5 + \left(\frac{q_{basamak}}{2} + q_{zincir} \right) \cdot l_3 \cdot w \qquad (4.14)$$

Burada; F_5 değeri, basamak zinciri ön-gerilme değerine eşit olarak kabul edilir.

7 noktasında alt dönüş istasyonunda zincir dişlisinden kaynaklanan dönüş direnç katsayısı, (4.12) nolu denklem kullanılarak hesaplanır. Elde edilen dönüş direnç katsayısı F_6 kuvvetiyle çarpılarak F_7 değeri elde edilir.

$$F_7 = k_{dişli} \cdot F_6 \qquad (4.15)$$

8 noktasındaki kuvvet hesaplanırken, 7 ile 8 noktaları arasında etki eden yolcu, basamak ve zincir ağırlığından kaynaklanan yükler dikkate alınır.

$$F_8 = F_7 + \left(\frac{q_{basamak}}{2} + q_{zincir} \right) \cdot l_3 \cdot w + \frac{q_{yolcu}}{2} \cdot l_2 \cdot w \qquad (4.16)$$

Yürüyen merdivenin yatay bölümü ile eğimli bölümünün birleştiği noktadaki yaydaki yükler ve dirençler dikkate alınarak 9 noktasındaki gerilme değeri bulunur.

$$F_9 = F_8 \cdot e^{w.\beta} + \left(\frac{q_{basamak}}{2} + q_{zincir} + \frac{q_{yolcu}}{2} \right) \cdot \left(+\sin\theta - w \cdot \cos\theta \right) \cdot R_{alt} \cdot \frac{e^{w \cdot \beta} - 1}{w} \qquad (4.17)$$

9 ile 10 noktaları arasındaki eğimli bölümde etkiyen yükler dikkate alınarak 10 noktasındaki gerilme değeri bulunur.

$$F_{10} = F_9 + \left(\frac{q_{basamak}}{2} + q_{zincir} + \frac{q_{yolcu}}{2} \right) \cdot \left(L_1 \cdot w + H \right) \qquad (4.18)$$

Üst noktadaki yay bölgesinde de alt bölümdekine benzer şekilde gerilme değeri bulunur.

$$F_{11} = F_{10} \cdot e^{w \cdot \beta} + \left(\frac{q_{basamak}}{2} + q_{zincir} + \frac{q_{yolcu}}{2} \right) \cdot \left(+ \sin\theta + w \cdot \cos\theta \right) \cdot R_{üst} \cdot \frac{e^{w \cdot \beta} - 1}{w} \qquad (4.19)$$

Son olarak da üst bölüm yatay kısma etkiyen yükler hesaba katılarak 12 noktasında en büyük gerilme değeri elde edilir.

$$F_{\max} = F_{12} = F_{11} + \left(\frac{q_{basamak}}{2} + q_{zincir} \right) \cdot l_3 \cdot w + \frac{q_{yolcu}}{2} \cdot l_2 \cdot w \qquad (4.20)$$

Zincir dişlisi üzerine etki eden F_1 kuvvetini elde etmek için, 4 noktasından başlayarak ters yönde gerilme değerleri hesaplanır.

$$F_4 = \frac{\left(F_5 - \left(\frac{q_{basamak}}{2} + q_{zincir} \right) \cdot \left(-\sin\theta - w \cdot \cos\theta \right) \cdot R_{alt} \cdot \frac{e^{w \cdot \beta} - 1}{w} \right)}{e^{w \cdot \beta}} \qquad (4.21)$$

3 noktasındaki gerilme değeri,

$$F_3 = F_4 - \left(\frac{q_{basamak}}{2} + q_{zincir} \right) \cdot L_1 \cdot w + \left(\frac{q_{basamak}}{2} + q_{zincir} \right) \cdot H \qquad (4.22)$$

2 noktasındaki gerilme değeri,

$$F_2 = \frac{\left(F_3 - \left(\frac{q_{basamak}}{2} + q_{zincir} \right) \cdot \left(-\sin\theta + w \cdot \cos\theta \right) \cdot R_{üst} \cdot \frac{e^{w \cdot \beta} - 1}{w} \right)}{e^{w \cdot \beta}} \qquad (4.23)$$

1 noktasındaki gerilme değeri,

$$F_1 = F_2 - \left(\frac{q_{basamak}}{2} + q_{zincir} \right) \cdot l_3 \cdot w \qquad (4.24)$$

Böylece herbir basamak zincirine etkiyen çekme kuvveti (F_{zincir}) aşağıda verilen formülle elde edilir.

$$F_{zincir} = F_{12} - F_1 + W = F_{12} - F_1 + \left(F_{12} + F_1 \right) \cdot \left(k_{dişli} - 1 \right) \qquad (4.25)$$

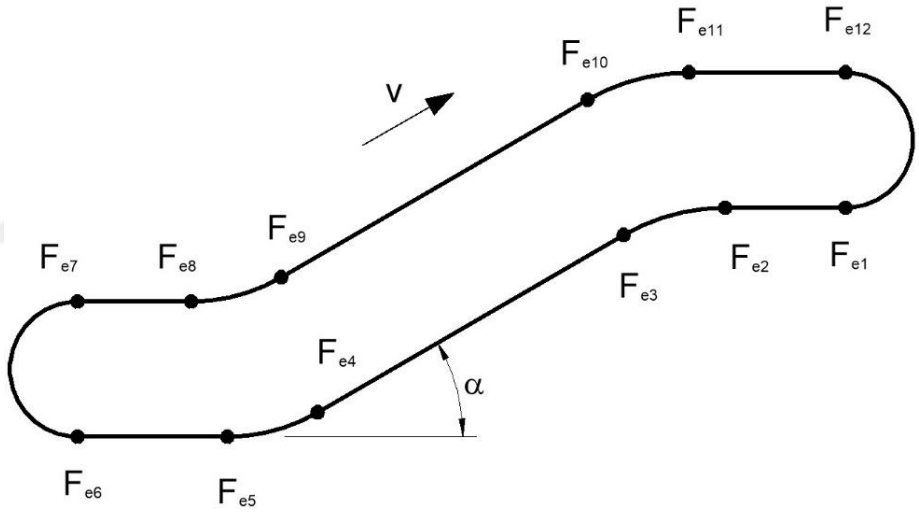
W : Dönüş dişlisi üzerindeki direnç kuvveti

4.2.2 Elbandı Mekanizması Tahrik Hesabı

Yürüyen merdiven üzerinde güç tüketen başka bir sistemde elbandı mekanizmasıdır. Bu mekanizmanın harcadığı güç, basamak zincirine etkiyen yüklerin belirlendiği gibi noktadan noktaya metoduyla belirlenebilir.

Hesaplamalar bir taraftaki elbandı için yapılacak olup, bulunan kuvvet değeri 2 ile çarpılıp toplam güç miktarı hesabında kullanılacaktır.

Elbandı kılavuz ray üzerinde hareket ederken düz, eğimli ve kasnak dönüşlerinde farklı dirençlere maruz kalmaktadır. Bundan dolayı elbandı hareket rotası Şekil 4.8'de görüldüğü gibi farklı bölgelere ayrılmıştır. Hesabı basitleştirmek için elbandı güzergahındaki saptırma kasnaklarının etkisi ihmal edilmiştir.



Şekil 4. 8 Elbandı mekanizmasının şematik gösterimi

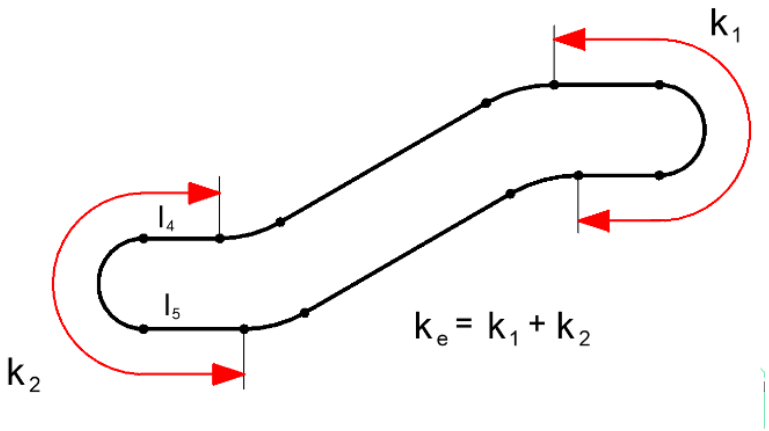
1-12 ve 6-7 bölgelerinde kasnak etrafında,

7-8, 11-12, 1-2 ve 5-6 bölgelerinde düz yüzeylerde,

2-3, 4-5, 8-9 ve 10-11 bölgelerinde eğrisel yüzeylerde,

3-4 ve 9-10 bölgelerinde eğimli yüzeylerde hareket söz konusudur. Her bir bölüm için ayrı hesaplama yapılacaktır [5].

Hesaplamalarda, alt ve üst elbandı istasyonlarının uzunluklarının toplamına eşit olan elbandı faktörü (k_e) kullanılacaktır [5].



Şekil 4. 9 Elbandı faktörü

$$k_e = k_1 + k_2 \tag{4.26}$$

$$k_e = \pi \cdot d_e + 2 \cdot l_4 + 2 \cdot l_5 \tag{4.27}$$

Elbandına uygulanan ön gerilme değeri (F_{e0}) 100 N olarak alınacaktır.

Böylece 1 noktasındaki gerilme değeri,

$$F_{e1} = F_{e0} + \left(\frac{k_e}{4} - d_e \cdot \frac{\pi}{4} \right) \cdot m_e \cdot \mu_4 \cdot g \tag{4.28}$$

2 noktasındaki gerilme değeri,

$$F_{e2} = F_{e1} \cdot e^{\mu_4 \cdot \alpha} \tag{4.29}$$

3 noktasındaki gerilme değeri,

$$F_{e3} = F_{e2} + \frac{H}{\sin \alpha} \cdot m_e \cdot \mu_4 \cdot \cos \alpha \cdot g - m_e \cdot H \cdot g \tag{4.30}$$

4 noktasındaki gerilme değeri,

$$F_{e4} = F_{e3} \cdot e^{\mu_4 \cdot \alpha} \tag{4.31}$$

5 noktasındaki gerilme değeri,

$$F_{e5} = F_{e4} + \left(\frac{k_e}{4} - d_e \cdot \frac{\pi}{4} \right) \cdot m_e \cdot \mu_4 \cdot g \tag{4.32}$$

6 noktasındaki gerilme değeri,

$$F_{e6} = F_{e5} \cdot e^{\mu_n \cdot \alpha_n} = F_{e5} \cdot e^{\mu_4 \cdot \pi} \tag{4.33}$$

7 noktasındaki gerilme değeri,

$$F_{e7} = F_{e6} + \left(\frac{k_e}{4} - d_e \cdot \frac{\pi}{4} \right) \cdot \left(m_e + m_p \right) \cdot \mu_4 \cdot g \tag{4.34}$$

8 noktasındaki gerilme değeri,

$$F_{e8} = F_{e7} \cdot e^{\mu_4 \cdot \alpha} \tag{4.35}$$

9 noktasındaki gerilme değeri,

$$F_{e9} = F_{e8} + \left[\left(m_e + m_p \right) \cdot \left(H \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \cdot \mu_4 \right) + H \cdot \left(m_e + m_p \right) \right] \cdot g \tag{4.36}$$

10 noktasındaki gerilme değeri,

$$F_{e10} = F_{e9} \cdot e^{\mu_4 \cdot \alpha} \tag{4.37}$$

11 noktasındaki gerilme değeri,

$$F_{e11} = F_{e10} + \left(\frac{k_e}{4} - d_e \cdot \frac{\pi}{4} \right) \cdot \left(m_e + m_p \right) \cdot \mu_4 \cdot g \tag{4.38}$$

12 noktasındaki gerilme değeri,

$$F_{e12} = F_{e11} \cdot e^{\mu_n \cdot \alpha_n} = F_{e11} \cdot e^{\mu_4 \cdot \pi} \tag{4.39}$$

Tek taraftaki elbandına etkiyen toplam gerilme değeri,

$$F_{elbandı} = F_{e12} - F_{e1} \tag{4.40}$$

olarak elde edilir.

4.2.3 Motor Gücü Hesabı

Elde edilen basamak zinciri ve elbandı çekme kuvveti değerleri kullanılarak, yürüyen merdiven için gerekli motor gücü kapasitesi elde edilir.

Yürüyen merdiven için gerekli toplam güç miktarı;

$$N = \frac{2 \cdot v \cdot \left(F_{zincir} + F_{elbandı} \right)}{1000.\eta} + P_{K.sistemi} \quad \text{[kW]} \tag{4.41}$$

ISO 25745-3:2015 standardında tanımlanan yürüyen merdivenin kontrol sisteminin kullandığı güç miktarı da motor gücü hesabına dahil edilecek ve $P_{k.sistemi}$=0,4 [kW] olarak alınacaktır.

BÖLÜM 5

YÜKLEME DURUMU ANALİZİ VE DOLULUK FAKTÖRÜ

5.1 Yürüyen Merdiven Taşıma Kapasitesi

Yürüyen merdivenlerin tasarım aşamasında ilk belirlenmesi gereken, bulunacağı yapıya da bağlı olarak yolcu kapasitesinin belirlenmesidir. Yolcu kapasitesi için en önemli kriterler yürüyen merdivenin basamak genişliği ve çalışma hızıdır.

Tam kapasitede yürüyen merdivenin saatlik taşıdığı yolcu sayısı [6];

$$Z = 3600 \cdot \delta \cdot \frac{E \cdot v}{t_b} = 9000 \cdot \psi \cdot E \cdot v \qquad (5.1)$$

formülüyle elde edilir.

Burada;

δ : Basamak doluluk faktörü

E : Basamaktaki yolcu sayısı

v : Çalışma hızı [m/s]

t_b : Basamak derinliği [m]

Basamaktaki yolcu sayısı basamağın genişliği ile ilişkilidir. Basamak genişliği ise EN 115-1 standartlarda 0.6, 0.8 ve ve 1 m olarak belirlenmiştir. Yaygın olarak kullanılan 1 m basamak genişliği için, basamak başına yolcu sayısı 2 olarak alınır.

Yürüyen merdivenin çalışma hızı ise ihtiyaca göre genelde 0.5, 0.65 ve 0.75 m/s olmak üzere 3 farklı değer olarak alınır.

Tam kapasite çalışmadaki yolcu sayısı formülü kullanılarak elde edilen teorik taşıma kapasitesi Çizelge 5.1'de verilmiştir. Aynı zamanda bu değerler EN-115 standardının 1995 yılında yayınlanan ilk sürümündeki teorik taşıma kapasiteleridir [16].

Çizelge 5. 1 Yürüyen merdiven teorik taşıma kapasiteleri [6] [16]

Basamak Genişliği (mm)	Teorik Taşıma Kapasitesi [kişi/saat]		
	v=0,5 m/s	v=0,65 m/s	v=0,75 m/s
600	4500	5850	6750
800	6750	8775	10125
1000	9000	11700	13500

Çizelge 5.1'de yer alan taşıma kapasiteri belirlenirken 600, 800 ve 1000 mm basamak genişlikleri için basamak doluluk faktörü değeri sırasıyla 0.5, 0.75 ve 1 olarak kabul edilmiştir [6]. Burada bahsedilen doluluk faktörü boyutsal ölçülere (basamak genişliği) bağlı bir katsayı olup, yürüyen merdivenin yolcu yoğunluğuyla ilgili değildir.

EN 115-1:2017 standardı Ek H bölümünde yürüyen merdivenler için maksimum taşıma kapasiteleri, çalışma hızı ve basamak genişliğine bağlı olarak Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 ve Çizelge 3.2'de verilen değerler incelendiğinde, aynı koşullardaki yürüyen merdivenler için yolcu kapasitesi değerinin EN-115 standardının son yayınlanan sürümünde daha az olduğu görülmektedir. 1000 mm basamak genişliği ve 0,65 m/s çalışma hızı için kıyas yapıldığında yolcu taşıma kapasiteleri arasında 100'e 62 gibi bir oran olduğu görülmektedir. Belirtilen boyutsal ölçüler için teorik kapasitenin 0,62 gibi bir katsayıyla çarpılarak yeni kapasite elde edilmiştir. EN 115 standardının ilk sürümünde bulunmayan bu durum uygulamadaki tecrübelerle revize edilerek, standardın son sürümlerinde değiştirilmiştir.

EN 115 standardında belirtilen yolcu kapasiteleri tüm yürüyen merdivenleri kapsamakla beraber, ortalama bir değer vermektedir.

Saatlik olarak verilen yolcu sayılarının, gün içerisinde farklı dağılım gösterdikleri durumlarda yükleme durumlarının da göz önüne alınması gerekir. Özellikle ulaşım sistemlerinde kullanılan ağır hizmet tipi yürüyen merdivenlerde bu durum değerlendirilmelidir.

5.2 Ağır Hizmet Tipi Yürüyen Merdivenlerin Yükleme Durumları

Yürüyen merdivenlerin tasarımında yolculardan kaynaklanan yük belirlenirken, her bir basamakta 2 yolcunun olduğu varsayılmaktadır. Fakat uygulamada yükleme durumu incelendiğinde, yürüyen merdivenlerin kullanım amaçları ve bulundukları tesise göre yolcu yoğunluğunun değiştiği gözlenmiştir.

Metro istasyonları, havaalanları gibi yerlerde gün içinde daha yoğun ve sık kullanım söz konusudur. Alışveriş merkezleri, kamu binaları gibi alanlarda ise gün içinde belli saatlerde ve daha az yolcu sirkülasyonu gerçekleşmektedir.

Ayrıca 2 kişinin yan yana durabildiği ölçülerdeki (genişlik 1000 mm) yürüyen merdivenlerde genelde sağ taraftaki yolcu sabit dururken, sol taraftaki yolcu hareket halindedir (Şekil 5.1). Hareketli yolcular sebebiyle de kapasite olarak tam doluluk gerçekleşmemektedir.



Şekil 5. 1 Yürüyen merdivendeki yolcu sirkülasyonu

Bu bölümde metro sisteminde kullanılan yürüyen merdivenlerin çalışma saatleri içerisindeki yolcu yoğunluğu incelenecektir.

Bunun için öncelikle güç analizörü kullanılarak, yolcu yüküyle beraber yürüyen merdivenin güç tüketimindeki değişim tespit edilecektir. Daha sonra kamera görüntülerinden elde edilen anlık yolcu sayıları ile kıyaslanacaktır.

Ölçümler İstanbul Metrosundaki bir hattın istasyonlarındaki yürüyen merdivenlerde yapılmıştır.

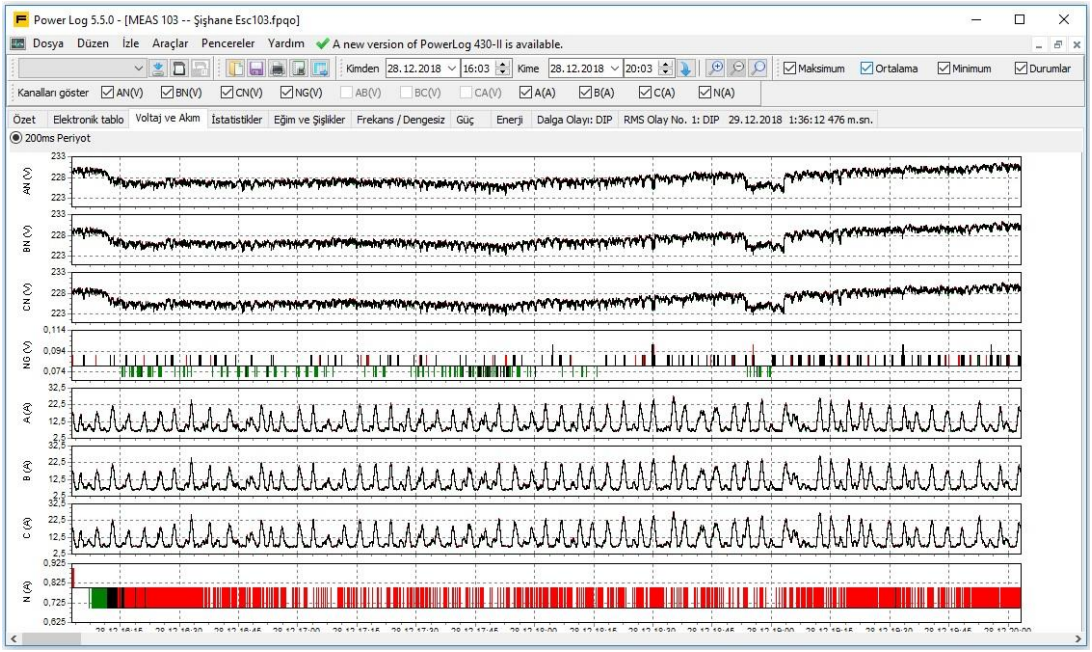
5.2.1 Yürüyen Merdiven Güç Tüketimi Ölçümü

Yürüyen merdivenin çalışma süresi içerisinde güç tüketim değerlerini belirlemek için güç analizörü (FLUKE 435-II Power Quality and Energy Analyzer) kullanılmıştır (Şekil 5.2). Bu cihaz ekipmanın elektrik panosuna bağlanmakta ve anlık olarak üç faz içinde güç, akım, frekans, enerji değerlerini belirlenen süre aralıkları için verebilmektedir.



Şekil 5. 2 Güç analizörü

Cihazdan elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılarak, cihazın veri işleme programı olan Power Log ile ihtiyaç duyulan değerler ve grafikler elde edilir (Şekil 5.3).

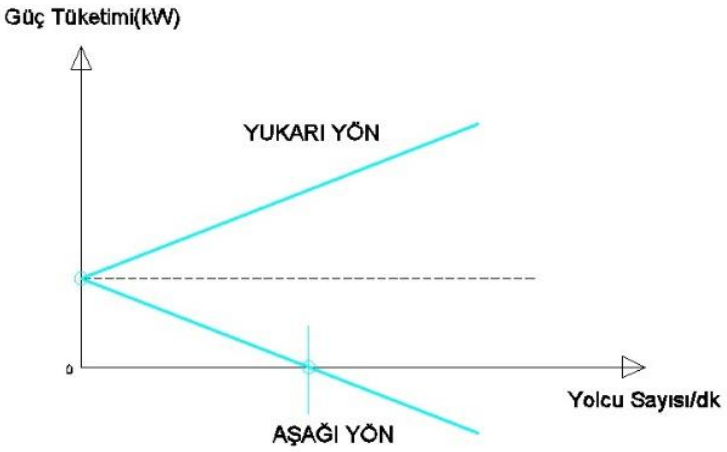


Şekil 5. 3 Power Log - Güç analizörü veri işleme programı

Ölçümlere ilk olarak 13 nolu metro istasyonundaki YM14 nolu yürüyen merdivenden başlanmıştır. Merdivenin teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Yön : Yukarı
- Hız : 0,65 m/s
- Genişlik : 1 m (basamakta 2 kişi)
- Yükseklik : 8,18 m

Çalışmalar, "YUKARI" yönde çalışan yürüyen merdivenler üzerinde yapılmıştır. Aşağı yönde çalışan yürüyen merdivenlerde yükle beraber çekilen güç azalmakta, hatta artı duruma geçilmektedir (Şekil 5.4). Yukarı yönde çalışma durumunda ise, artan yolcu sayısı ile birlikte güç tüketimi orantılı şekilde artmaktadır. Böylece güç tüketimi ve yolcu sayısı arasındaki ilişki gözlenebilmektedir.



Şekil 5. 4 Yukarı ve aşağı yönde hareket durumunda güç tüketimi [8]

YM14 nolu yürüyen merdivene güç analizörü bağlanarak, günlük çalışma süresi içerisinde (06:00-24:00 arası) anlık güç tüketim değerleri alınmıştır. Böylelikle yürüyen merdiven üzerinde yolcu yokken ve yolcu varken değişen güç tüketimi değerleri tespit edilmiştir.



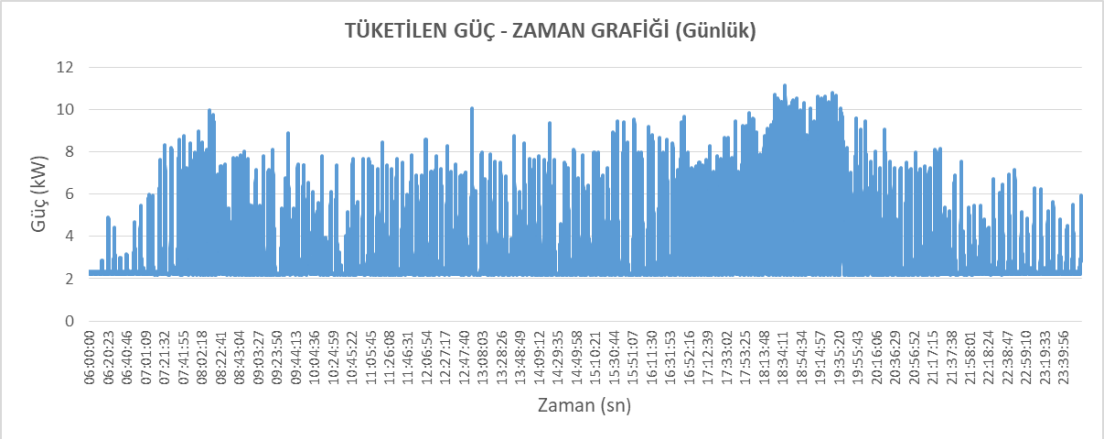


1 günlük çalışma süresi için ölçüler alınıp, elde edilen verilerden “etkin güç” değerleri süzülerek tablo haline getirilmiştir (Çizelge 5.2).

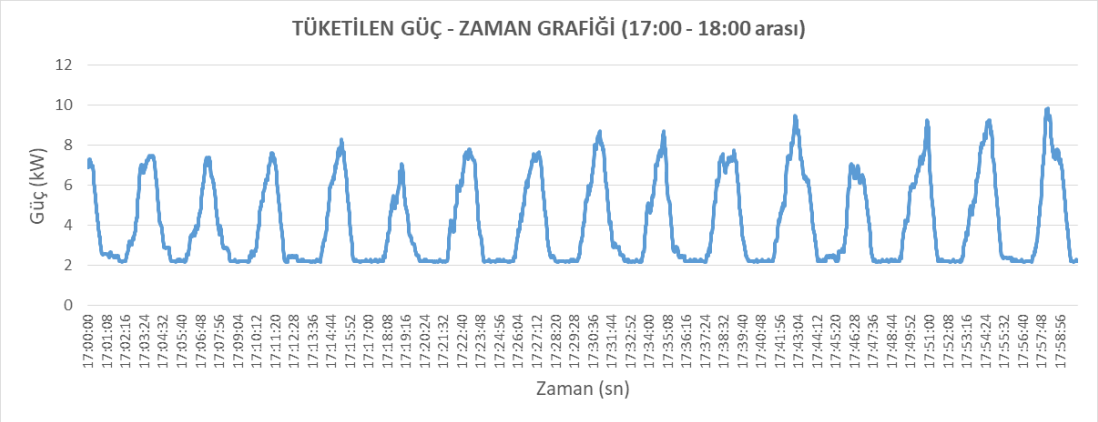
Çizelge 5. 2 Belirli bir süre aralığı için güç ölçüm sonuçları (YM14)

TARİH	ZAMAN	Güç (kW)	ZAMAN	Güç (kW)	ZAMAN	Güç (kW)	ZAMAN	Güç (kW)	ZAMAN	Güç (kW)
17.09.2018	08:10:00	2,22	08:10:50	7,86	08:11:40	5,28	08:12:30	2,22	08:13:20	2,22
17.09.2018	08:10:01	2,28	08:10:51	8,1	08:11:41	5,16	08:12:31	2,22	08:13:21	2,22
17.09.2018	08:10:02	2,4	08:10:52	8,4	08:11:42	4,98	08:12:32	2,22	08:13:22	2,22
17.09.2018	08:10:03	2,7	08:10:53	8,52	08:11:43	4,86	08:12:33	2,22	08:13:23	2,22
17.09.2018	08:10:04	2,82	08:10:54	8,64	08:11:44	4,62	08:12:34	2,22	08:13:24	2,22
17.09.2018	08:10:05	3	08:10:55	8,88	08:11:45	4,44	08:12:35	2,22	08:13:25	2,22
17.09.2018	08:10:06	3	08:10:56	9,3	08:11:46	4,2	08:12:36	2,22	08:13:26	2,16
17.09.2018	08:10:07	3,06	08:10:57	9,3	08:11:47	4,02	08:12:37	2,28	08:13:27	2,22
17.09.2018	08:10:08	3,3	08:10:58	9,6	08:11:48	3,84	08:12:38	2,22	08:13:28	2,22
17.09.2018	08:10:09	3,42	08:10:59	9,66	08:11:49	3,66	08:12:39	2,22	08:13:29	2,22
17.09.2018	08:10:10	3,42	08:11:00	9,78	08:11:50	3,54	08:12:40	2,22	08:13:30	2,22
17.09.2018	08:10:11	3,6	08:11:01	9,96	08:11:51	3,3	08:12:41	2,22	08:13:31	2,22
17.09.2018	08:10:12	3,6	08:11:02	9,9	08:11:52	3,24	08:12:42	2,28	08:13:32	2,28
17.09.2018	08:10:13	3,6	08:11:03	9,96	08:11:53	3,06	08:12:43	2,28	08:13:33	2,22
17.09.2018	08:10:14	3,6	08:11:04	9,72	08:11:54	2,94	08:12:44	2,22	08:13:34	2,22
17.09.2018	08:10:15	3,42	08:11:05	9,66	08:11:55	2,76	08:12:45	2,22	08:13:35	2,22
17.09.2018	08:10:16	3,12	08:11:06	9,48	08:11:56	2,64	08:12:46	2,28	08:13:36	2,22
17.09.2018	08:10:17	3,06	08:11:07	9,72	08:11:57	2,46	08:12:47	2,28	08:13:37	2,22
17.09.2018	08:10:18	2,82	08:11:08	9,78	08:11:58	2,34	08:12:48	2,28	08:13:38	2,22
17.09.2018	08:10:19	2,94	08:11:09	9,78	08:11:59	2,28	08:12:49	2,28	08:13:39	2,22
17.09.2018	08:10:20	3,12	08:11:10	9,42	08:12:00	2,22	08:12:50	2,28	08:13:40	2,28
17.09.2018	08:10:21	3,06	08:11:11	9,24	08:12:01	2,22	08:12:51	2,28	08:13:41	2,22
17.09.2018	08:10:22	3,36	08:11:12	9,24	08:12:02	2,22	08:12:52	2,28	08:13:42	2,22
17.09.2018	08:10:23	3,54	08:11:13	9,06	08:12:03	2,28	08:12:53	2,28	08:13:43	2,22
17.09.2018	08:10:24	3,42	08:11:14	8,88	08:12:04	2,22	08:12:54	2,22	08:13:44	2,22
17.09.2018	08:10:25	3,36	08:11:15	8,76	08:12:05	2,22	08:12:55	2,28	08:13:45	2,22
17.09.2018	08:10:26	3,54	08:11:16	8,64	08:12:06	2,22	08:12:56	2,28	08:13:46	2,28
17.09.2018	08:10:27	3,54	08:11:17	8,4	08:12:07	2,28	08:12:57	2,22	08:13:47	2,22
17.09.2018	08:10:28	3,66	08:11:18	8,28	08:12:08	2,22	08:12:58	2,22	08:13:48	2,22
17.09.2018	08:10:29	3,72	08:11:19	8,34	08:12:09	2,22	08:12:59	2,22	08:13:49	2,22
17.09.2018	08:10:30	4,02	08:11:20	8,04	08:12:10	2,22	08:13:00	2,22	08:13:50	2,22
17.09.2018	08:10:31	4,2	08:11:21	7,92	08:12:11	2,28	08:13:01	2,22	08:13:51	2,22
17.09.2018	08:10:32	4,32	08:11:22	7,86	08:12:12	2,22	08:13:02	2,22	08:13:52	2,22
17.09.2018	08:10:33	4,5	08:11:23	7,86	08:12:13	2,22	08:13:03	2,28	08:13:53	2,22
17.09.2018	08:10:34	4,68	08:11:24	7,92	08:12:14	2,22	08:13:04	2,22	08:13:54	2,22
17.09.2018	08:10:35	4,74	08:11:25	8,1	08:12:15	2,22	08:13:05	2,22	08:13:55	2,22
17.09.2018	08:10:36	4,86	08:11:26	7,86	08:12:16	2,22	08:13:06	2,28	08:13:56	2,22
17.09.2018	08:10:37	5,04	08:11:27	7,44	08:12:17	2,28	08:13:07	2,22	08:13:57	2,22
17.09.2018	08:10:38	4,98	08:11:28	7,32	08:12:18	2,22	08:13:08	2,22	08:13:58	2,22
17.09.2018	08:10:39	5,04	08:11:29	7,08	08:12:19	2,22	08:13:09	2,22	08:13:59	2,22
17.09.2018	08:10:40	5,04	08:11:30	6,96	08:12:20	2,22	08:13:10	2,28	08:14:00	2,16
17.09.2018	08:10:41	5,46	08:11:31	6,84	08:12:21	2,28	08:13:11	2,28	08:14:01	2,28
17.09.2018	08:10:42	5,82	08:11:32	6,66	08:12:22	2,22	08:13:12	2,22	08:14:02	2,22
17.09.2018	08:10:43	6,12	08:11:33	6,48	08:12:23	2,22	08:13:13	2,22	08:14:03	2,22
17.09.2018	08:10:44	6,48	08:11:34	6,3	08:12:24	2,22	08:13:14	2,22	08:14:04	2,22
17.09.2018	08:10:45	6,66	08:11:35	6,18	08:12:25	2,22	08:13:15	2,22	08:14:05	2,22
17.09.2018	08:10:46	6,84	08:11:36	6,12	08:12:26	2,22	08:13:16	2,22	08:14:06	2,22
17.09.2018	08:10:47	7,02	08:11:37	5,82	08:12:27	2,22	08:13:17	2,28	08:14:07	2,22
17.09.2018	08:10:48	7,38	08:11:38	5,64	08:12:28	2,22	08:13:18	2,22	08:14:08	2,22
17.09.2018	08:10:49	7,68	08:11:39	5,4	08:12:29	2,22	08:13:19	2,22	08:14:09	2,22

Çizelge 5.2'de bir kısmı verilen ölçüm verileri, gün içerisindeki yoğun çalışma aralıklarının belirlenebilmesi için günlük ve saatlik grafiklere aktarılmıştır. Böylelikle hangi çalışma aralıklarında en yüksek güç tüketiminin olduğu görülebilecektir (Şekil 5.6, Şekil 5.7).



Şekil 5. 6 YM14 nolu yürüyen merdivenin günlük güç tüketimi - zaman grafiği



Şekil 5. 7 YM14 nolu yürüyen merdivenin saatlik güç tüketimi - zaman grafiği

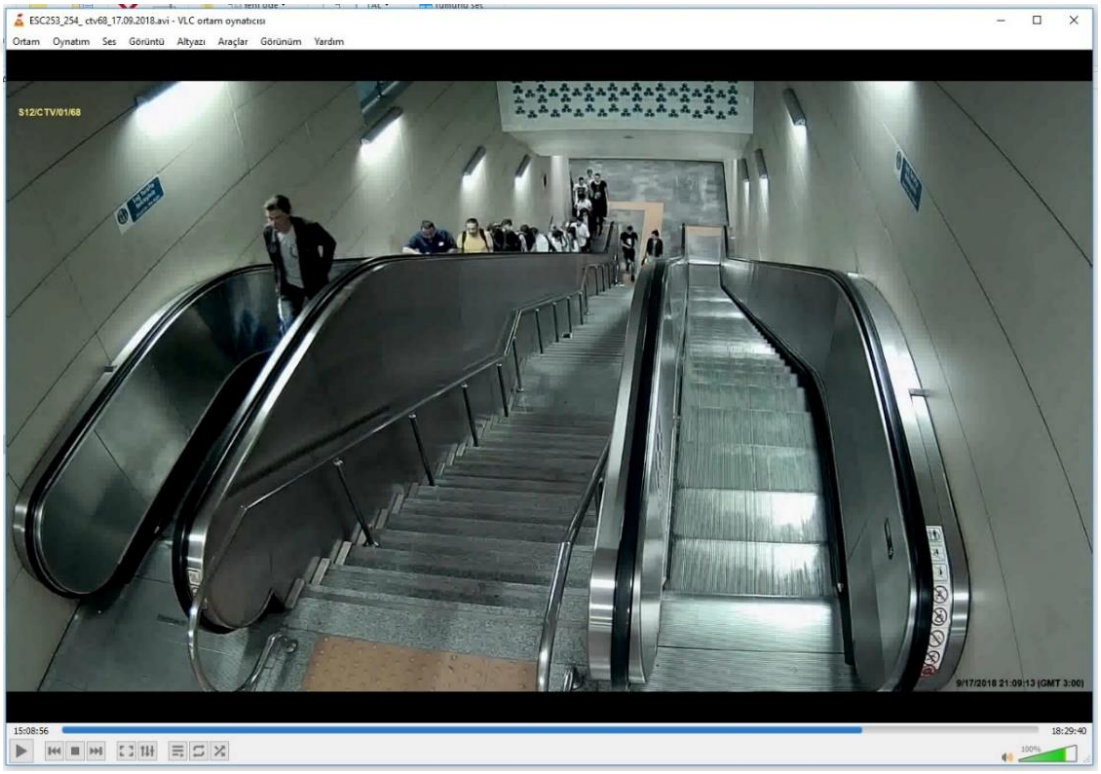


Şekil 5. 8 YM14 nolu yürüyen merdivenin güç tüketimi - zaman grafikleri

Ölçülen veriler ve elde edilen grafikler incelendiğinde yürüyen merdiven, üzerinde yolcu yokken sabit bir güç tüketmektedir. Üzerindeki yolcu sayısı arttıkça güç değerinin arttığı, yolcular inmeye başlayınca azaldığı görülmektedir.

Yürüyen merdiven üzerinde bulunan yolcu sayısı ile güç tüketim değerlerini kıyaslayabilmek için, ölçüm alınan aynı zaman aralığı için yolcu sayıları gözlemlenmiştir.

Bunun için daha önce güç analizörüyle ölçüm alınan İstasyon-13 metro istasyonundaki YM14 nolu yürüyen merdiveni izleyen kamera görüntülerinden (Şekil 5.9) yararlanılmıştır. Böylece belirlenen aynı zaman aralığı için, güç değeri bulunan her bir saniyedeki yolcu değerleri elde edilmiştir (Çizelge 5.3).

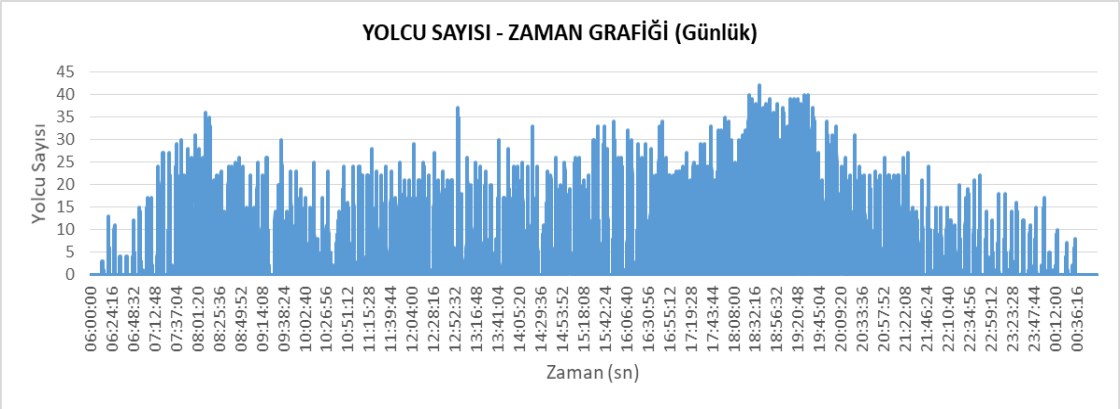


Şekil 5. 9 YM14 nolu yürüyen merdivenin kamera görüntüsü

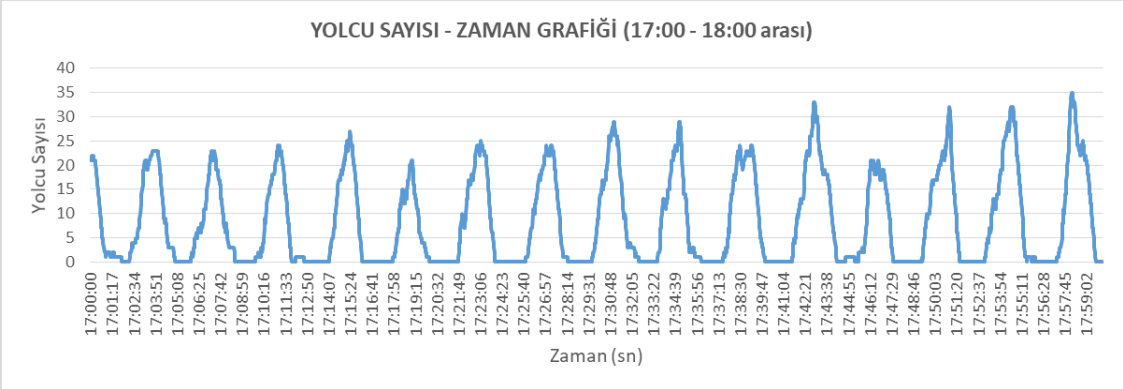
Çizelge 5. 3 Belirli bir süre aralığı için yürüyen merdivendeki yolcu sayıları (YM14)

TARİH	ZAMAN	YOLCU SAYISI	ZAMAN	YOLCU SAYISI	ZAMAN	YOLCU SAYISI	ZAMAN	YOLCU SAYISI	ZAMAN	YOLCU SAYISI
17.09.2018	08:10:00	0	08:10:50	25	08:11:40	14	08:12:30	0	08:13:20	0
17.09.2018	08:10:01	0	08:10:51	26	08:11:41	14	08:12:31	0	08:13:21	0
17.09.2018	08:10:02	1	08:10:52	28	08:11:42	13	08:12:32	0	08:13:22	0
17.09.2018	08:10:03	2	08:10:53	28	08:11:43	12	08:12:33	0	08:13:23	0
17.09.2018	08:10:04	3	08:10:54	29	08:11:44	11	08:12:34	0	08:13:24	0
17.09.2018	08:10:05	4	08:10:55	30	08:11:45	11	08:12:35	0	08:13:25	0
17.09.2018	08:10:06	4	08:10:56	32	08:11:46	10	08:12:36	0	08:13:26	0
17.09.2018	08:10:07	4	08:10:57	32	08:11:47	9	08:12:37	0	08:13:27	0
17.09.2018	08:10:08	5	08:10:58	34	08:11:48	8	08:12:38	0	08:13:28	0
17.09.2018	08:10:09	5	08:10:59	34	08:11:49	7	08:12:39	0	08:13:29	0
17.09.2018	08:10:10	5	08:11:00	35	08:11:50	6	08:12:40	0	08:13:30	0
17.09.2018	08:10:11	6	08:11:01	36	08:11:51	5	08:12:41	0	08:13:31	0
17.09.2018	08:10:12	6	08:11:02	36	08:11:52	5	08:12:42	0	08:13:32	0
17.09.2018	08:10:13	6	08:11:03	36	08:11:53	4	08:12:43	0	08:13:33	0
17.09.2018	08:10:14	6	08:11:04	35	08:11:54	3	08:12:44	0	08:13:34	0
17.09.2018	08:10:15	5	08:11:05	34	08:11:55	3	08:12:45	0	08:13:35	0
17.09.2018	08:10:16	4	08:11:06	33	08:11:56	2	08:12:46	0	08:13:36	0
17.09.2018	08:10:17	4	08:11:07	35	08:11:57	1	08:12:47	0	08:13:37	0
17.09.2018	08:10:18	3	08:11:08	35	08:11:58	0	08:12:48	0	08:13:38	0
17.09.2018	08:10:19	3	08:11:09	35	08:11:59	0	08:12:49	0	08:13:39	0
17.09.2018	08:10:20	4	08:11:10	33	08:12:00	0	08:12:50	0	08:13:40	0
17.09.2018	08:10:21	4	08:11:11	32	08:12:01	0	08:12:51	0	08:13:41	0
17.09.2018	08:10:22	5	08:11:12	32	08:12:02	0	08:12:52	0	08:13:42	0
17.09.2018	08:10:23	6	08:11:13	31	08:12:03	0	08:12:53	0	08:13:43	0
17.09.2018	08:10:24	5	08:11:14	30	08:12:04	0	08:12:54	0	08:13:44	0
17.09.2018	08:10:25	5	08:11:15	30	08:12:05	0	08:12:55	0	08:13:45	0
17.09.2018	08:10:26	6	08:11:16	29	08:12:06	0	08:12:56	0	08:13:46	0
17.09.2018	08:10:27	6	08:11:17	28	08:12:07	0	08:12:57	0	08:13:47	0
17.09.2018	08:10:28	7	08:11:18	27	08:12:08	0	08:12:58	0	08:13:48	0
17.09.2018	08:10:29	7	08:11:19	27	08:12:09	0	08:12:59	0	08:13:49	0
17.09.2018	08:10:30	9	08:11:20	26	08:12:10	0	08:13:00	0	08:13:50	0
17.09.2018	08:10:31	10	08:11:21	25	08:12:11	0	08:13:01	0	08:13:51	0
17.09.2018	08:10:32	10	08:11:22	25	08:12:12	0	08:13:02	0	08:13:52	0
17.09.2018	08:10:33	11	08:11:23	25	08:12:13	0	08:13:03	0	08:13:53	0
17.09.2018	08:10:34	12	08:11:24	25	08:12:14	0	08:13:04	0	08:13:54	0
17.09.2018	08:10:35	12	08:11:25	26	08:12:15	0	08:13:05	0	08:13:55	0
17.09.2018	08:10:36	12	08:11:26	25	08:12:16	0	08:13:06	0	08:13:56	0
17.09.2018	08:10:37	13	08:11:27	23	08:12:17	0	08:13:07	0	08:13:57	0
17.09.2018	08:10:38	13	08:11:28	22	08:12:18	0	08:13:08	0	08:13:58	0
17.09.2018	08:10:39	13	08:11:29	21	08:12:19	0	08:13:09	0	08:13:59	0
17.09.2018	08:10:40	13	08:11:30	21	08:12:20	0	08:13:10	0	08:14:00	0
17.09.2018	08:10:41	15	08:11:31	20	08:12:21	0	08:13:11	0	08:14:01	0
17.09.2018	08:10:42	16	08:11:32	19	08:12:22	0	08:13:12	0	08:14:02	0
17.09.2018	08:10:43	17	08:11:33	19	08:12:23	0	08:13:13	0	08:14:03	0
17.09.2018	08:10:44	19	08:11:34	18	08:12:24	0	08:13:14	0	08:14:04	0
17.09.2018	08:10:45	19	08:11:35	18	08:12:25	0	08:13:15	0	08:14:05	0
17.09.2018	08:10:46	20	08:11:36	17	08:12:26	0	08:13:16	0	08:14:06	0
17.09.2018	08:10:47	21	08:11:37	16	08:12:27	0	08:13:17	0	08:14:07	0
17.09.2018	08:10:48	23	08:11:38	16	08:12:28	0	08:13:18	0	08:14:08	0
17.09.2018	08:10:49	24	08:11:39	15	08:12:29	0	08:13:19	0	08:14:09	0

Aynı şekilde gün içinde yolcu yoğunluklarının gözlenebilmesi için elde edilen verilerle günlük ve saatlik grafikler oluşturulmuştur.



Şekil 5. 10 YM14 nolu yürüyen merdivenin günlük yolcu sayısı - zaman grafiği

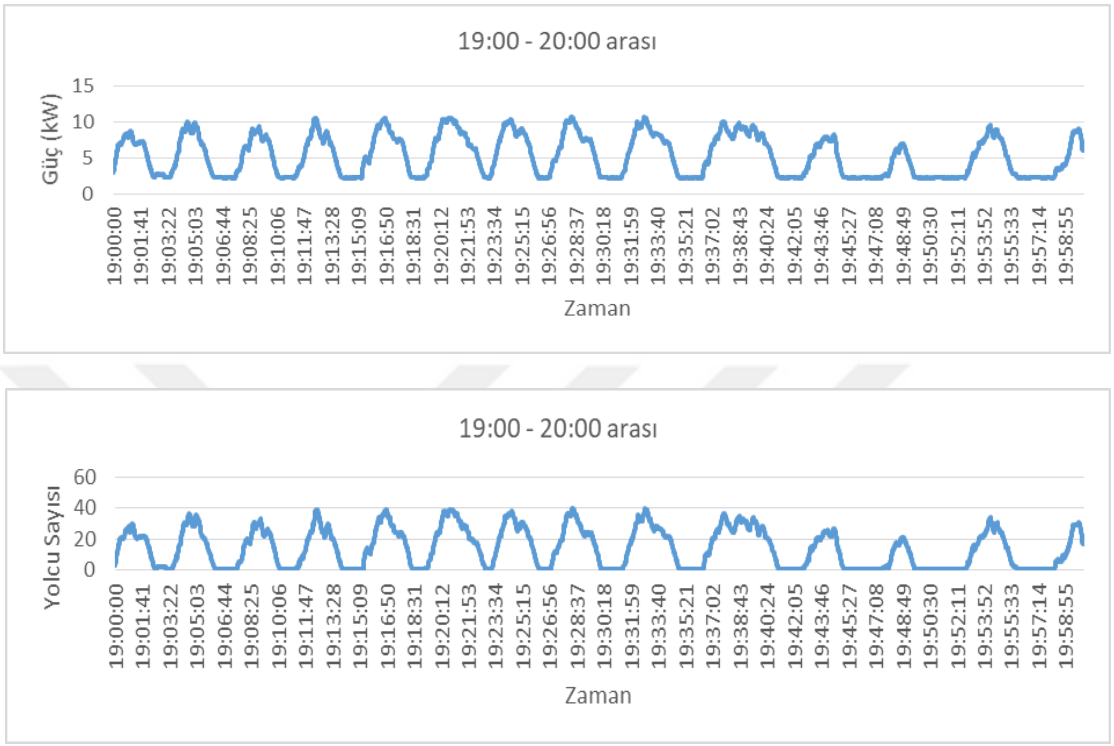


Şekil 5. 11 YM14 nolu yürüyenin merdiven saatlik yolcu sayısı - zaman grafiği

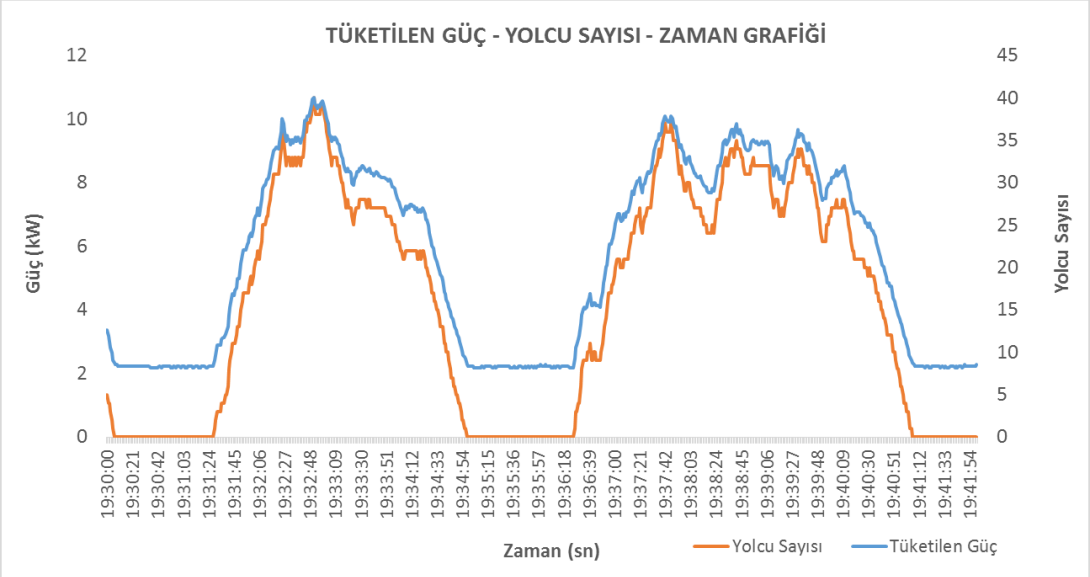


Şekil 5. 12 YM14 nolu yürüyen merdivenin yolcu sayısı - zaman grafikleri

Güç analizörü ile elde edilen güç tüketim değerleri ile kamera görüntülerinden elde edilen anlık yolcu sayıları kullanılarak oluşturan grafikler birbirleri ile kıyaslanmıştır. Şekil 5.13'de aynı saat dilimi için güç tüketimi ve yolcu sayısının zamanla değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5. 13 Aynı süre için güç tüketimi–zaman ve yolcu sayısı–zaman grafikleri



Şekil 5. 14 Yolcu sayısı ve güç tüketimi grafiklerinin kıyaslanması

Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'de aynı zaman dilimi için verilen grafikler incelendiğinde, artan yolcu sayısı (yük) ile birlikte tüketilen güç miktarıda arttığından her iki grafikte de benzer değişimlerin olduğu görülmüştür. Güç tüketimi grafiğindeki artış ve azalışlar, aynı şekilde yolcu sayısı grafiğinde de söz konusudur. Dolayısıyla elde edilen Güç Tüketimi – Zaman Grafiği ile Yolcu Sayısı – Zaman grafiklerindeki değişimlerin uyuştuğu görülmüştür.

Yürüyen merdivenin anlık yolcu yükünü (yolcu sayısı x 75 kg) tespit edebilmek için en doğru yöntem, anlık yolcu sayısını bulmaktır. Fakat gerek kamera görüntülerinin elde edilmesinin uzun süre alması, gerekse de her merdiven için elde edilen görüntü açısı ve görüntü kalitesinin yeterli olmaması sebebi ile tüm yürüyen merdivenler için yeterli veriler tam olarak elde edilememektedir.

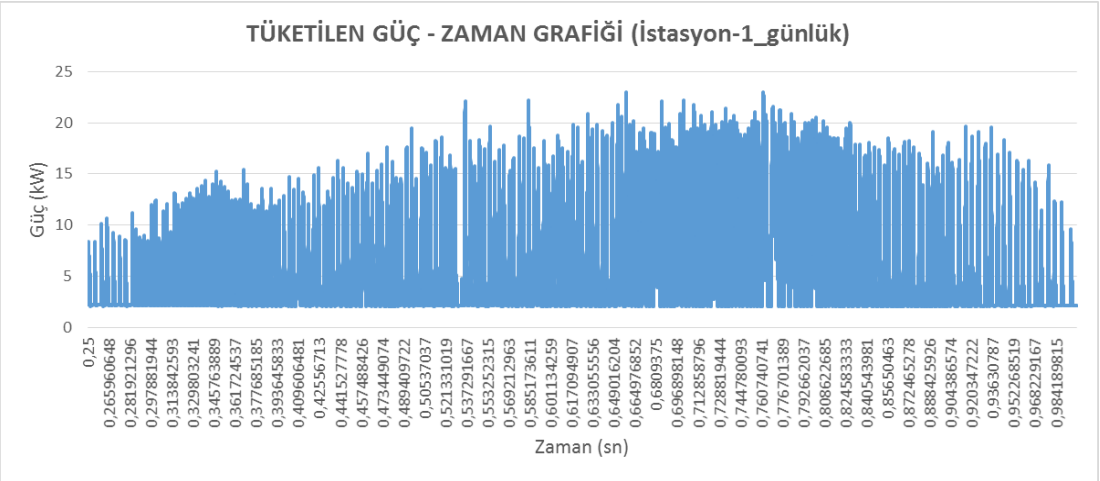
Bu sebeple bu aşamadan sonra yapılan çalışmalarda veri elde etme kolaylığı da düşünülerek güç analizöründen elde edilen güç tüketim verileri ve grafikleri üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Güç tüketim grafiklerindeki değişimler, yükleme durumundaki değişimler (yolcu sayısı değişimi) olarak kabul edilmiştir.

Bu kapsamda metro hattının farklı istasyonlarında belirlenen yürüyen merdivenlere güç analizörü bağlanarak, çalışma süresi içerisindeki güç tüketim değerleri elde edilmiştir. Çizelge 5.4'te ölçüm yapılan yürüyen merdivenlerin listesi verilmiştir.

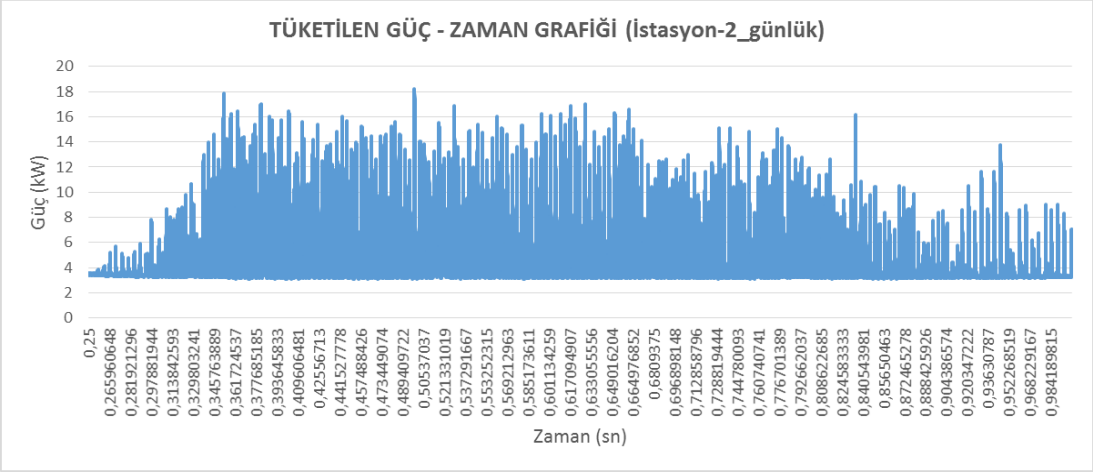
Çizelge 5. 4 Ölçüm yapılan yürüyen merdiven listesi

S.No	İstasyon Adı	Yürüyen Merdiven	Yükseklik (m)
1	İSTASYON-1	YM1	12,52
2	İSTASYON-2	YM2	11,42
3	İSTASYON-3	YM3	11,99
4	İSTASYON-4	YM4	12,52
5	İSTASYON-5	YM5	17,71
6	İSTASYON-6	YM6	18,8
7	İSTASYON-7	YM7	6,5
8	İSTASYON-8	YM8	10,34
9	İSTASYON-9	YM9	12,03
10	İSTASYON-10	YM10	12,02
11	İSTASYON-11	YM11	12,03
12	İSTASYON-12	YM12	12,02
13	İSTASYON-13-1	YM13	12,04
14	İSTASYON-13-2	YM14	8,18

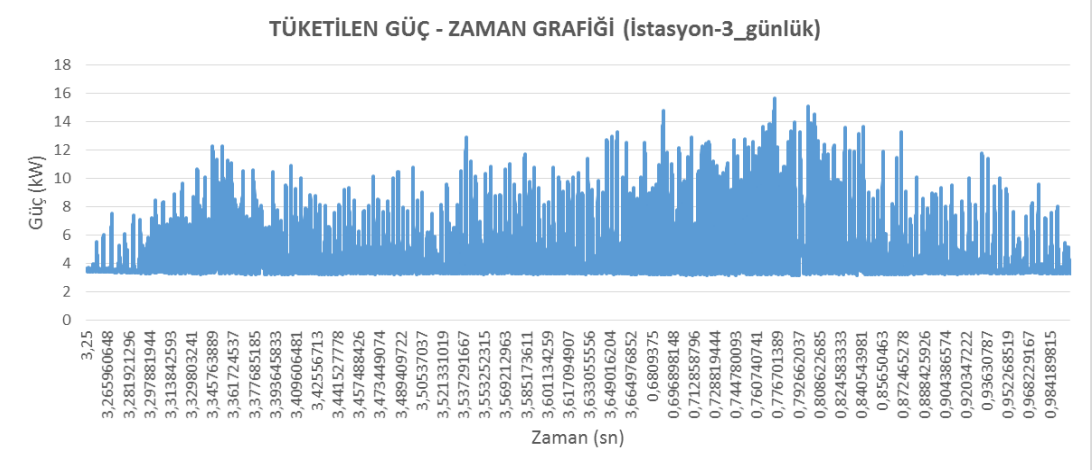
Güç analizörü ile ölçüm yapılan tüm yürüyen merdivenler için günlük güç tüketimi tabloları oluşturulmuştur. Tablolardaki veriler kullanılarak günlük ve saatlik grafikler elde edilmiş ve elde edilen günlük güç tüketim grafikleri aşağıda verilmiştir.



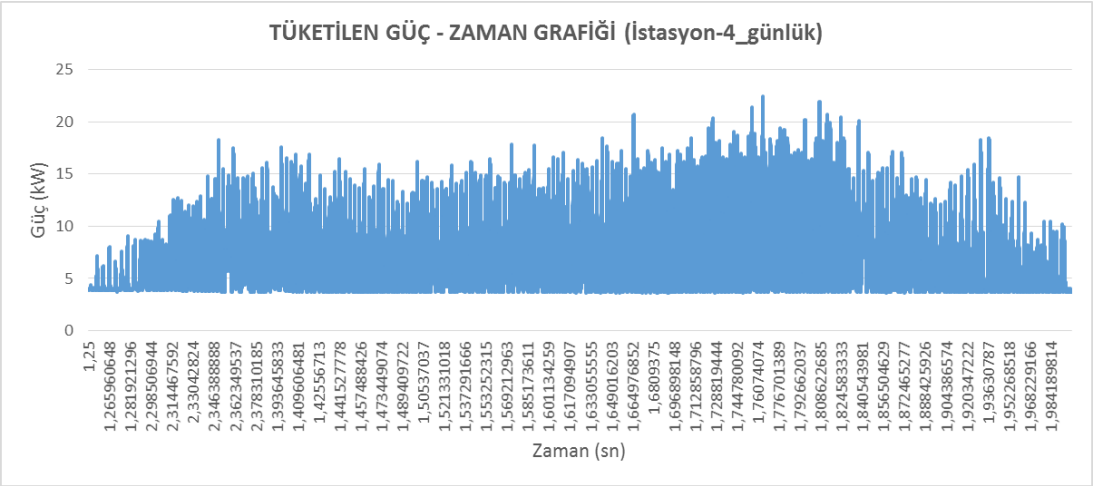
Şekil 5. 15 İstasyon-1 YM1 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği



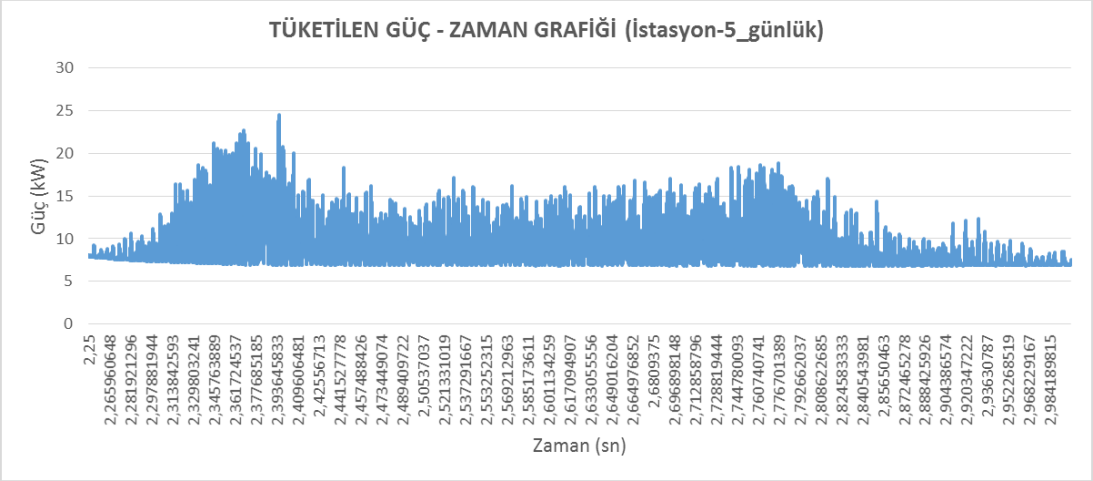
Şekil 5. 16 İstasyon-2 YM2 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği



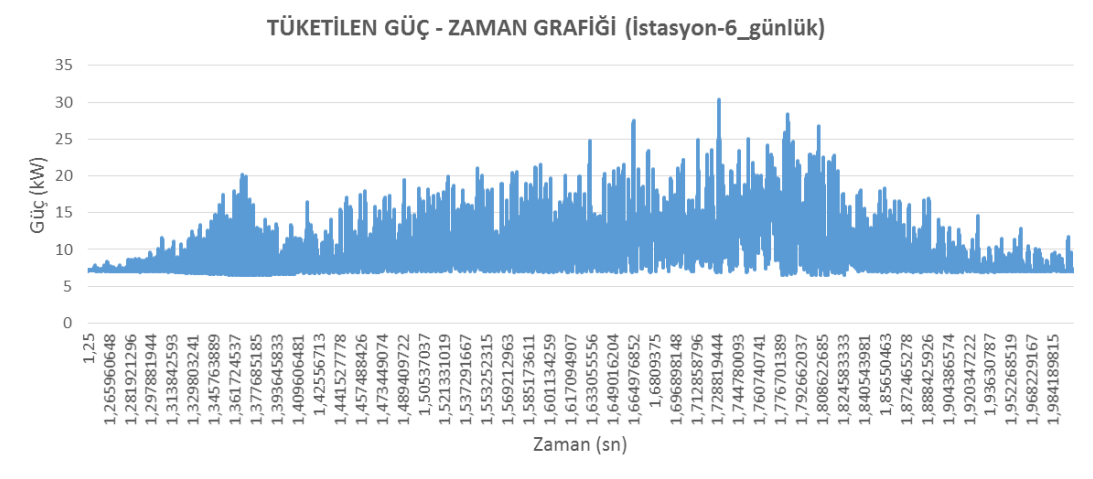
Şekil 5. 17 İstasyon-3 YM3 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği



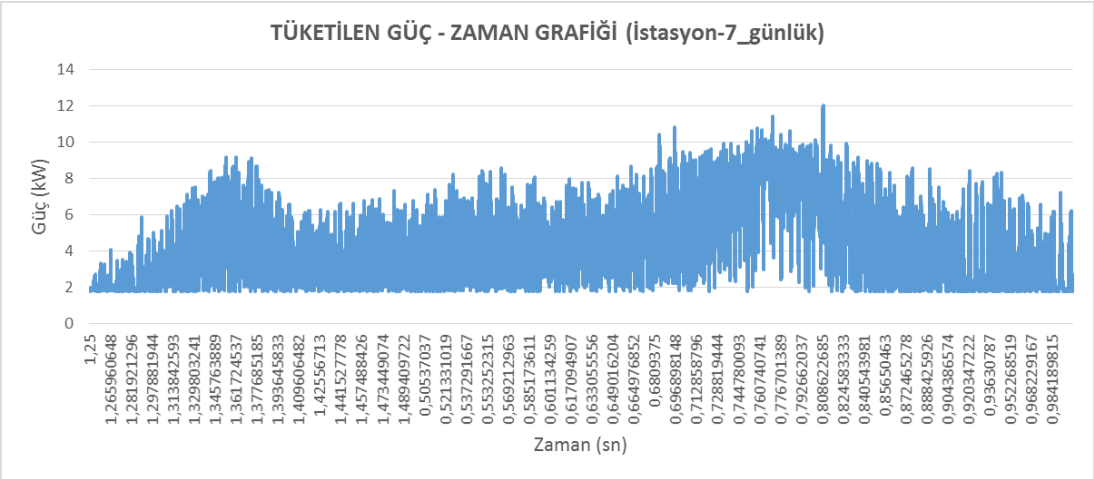
Şekil 5. 18 İstasyon-4 YM4 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği



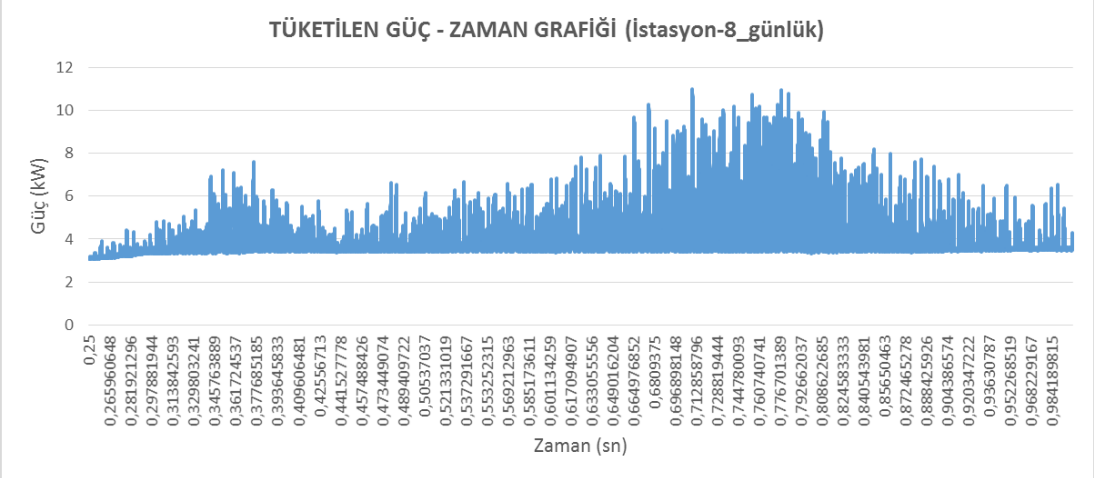
Şekil 5. 19 İstasyon-5 YM5 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği



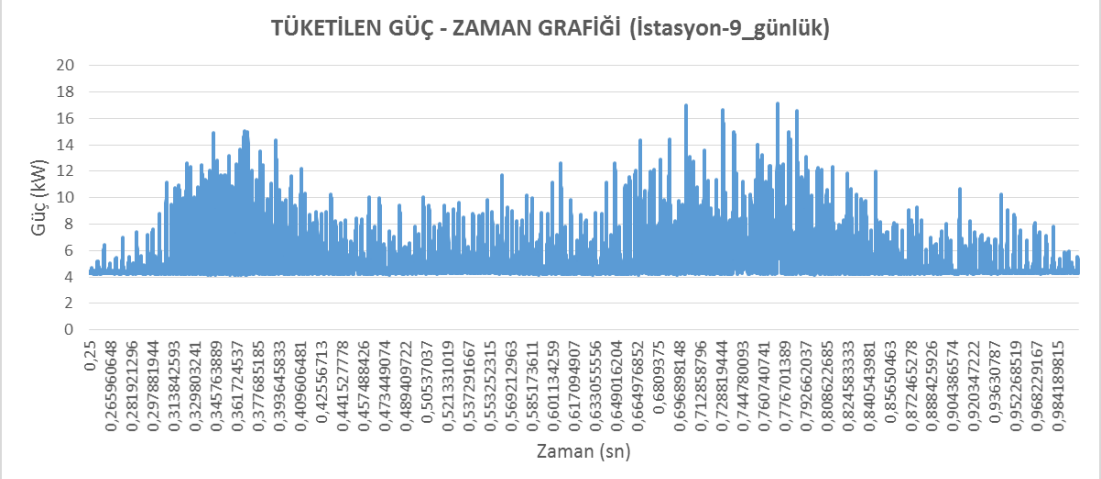
Şekil 5. 20 İstasyon-6 YM6 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği



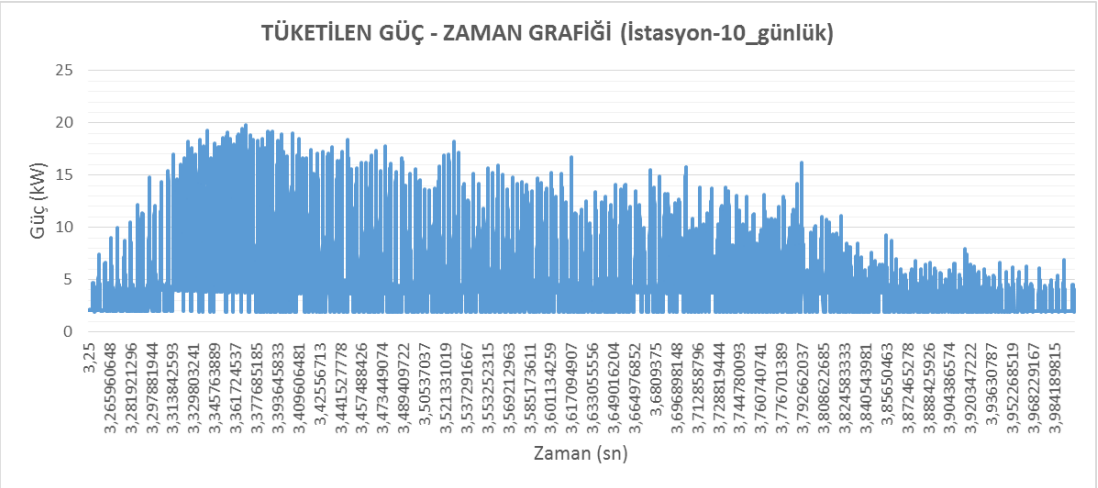
Şekil 5. 21 İstasyon-7 YM7 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği



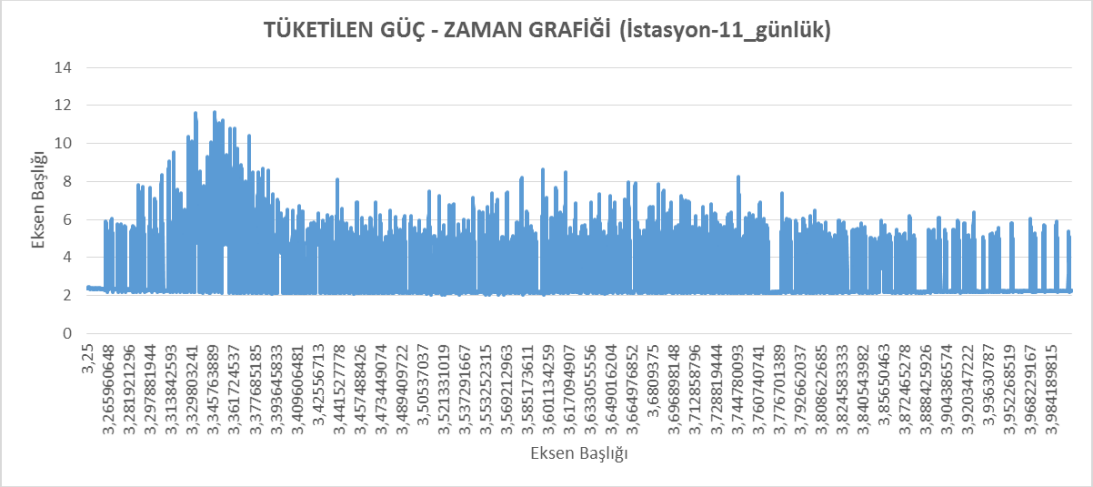
Şekil 5. 22 İstasyon-8 YM8 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği



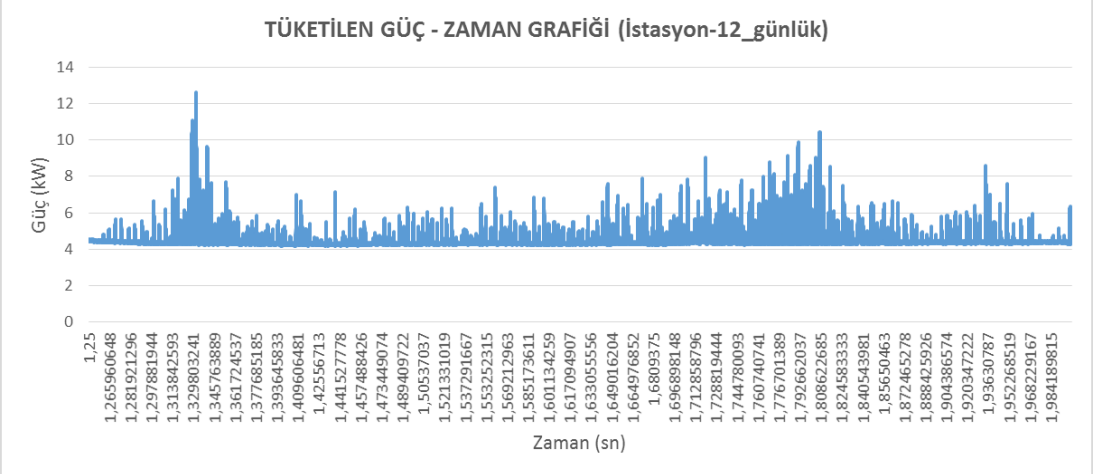
Şekil 5. 23 İstasyon-9 YM9 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği



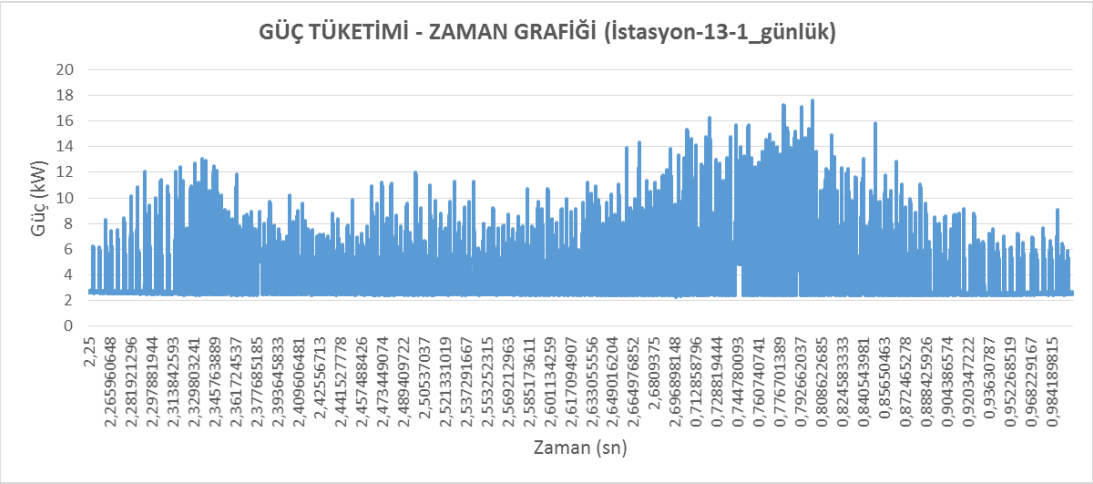
Şekil 5. 24 İstasyon-10 YM10 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği



Şekil 5. 25 İstasyon-11 YM11 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği



Şekil 5. 26 İstasyon-12 YM12 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği



Şekil 5. 27 İstasyon-13 YM13 nolu yürüyen merdiven güç tüketim grafiği

Elde edilen grafikler incelendiğinde, istasyonların yolcu yoğunluğuna bağlı olarak güç tüketimlerinin farklı olduğu görülmektedir. Bazı istasyonlarda yoğunluk tüm gün boyunca devam ederken, bazı istasyonlarda ise sadece sabah ve akşam saatlerinde öğrenci ve çalışanların toplu ulaşımı kullandığı zamanlarda yaşanmaktadır.

Saatlik grafikler incelendiğinde ise yürüyen merdivende yolcu yokken sabit bir güç tüketimi söz konudur. Bu değer yolcu yüküne bağlı olmayıp, yürüyen merdivenin kontrol sistemi ile çalışan ekipmanlarının ağırlığından dolayı kaynaklanan tüketimdir.

5.2.2 Yolcu Sayısı ve Güç Tüketimi İlişkisi

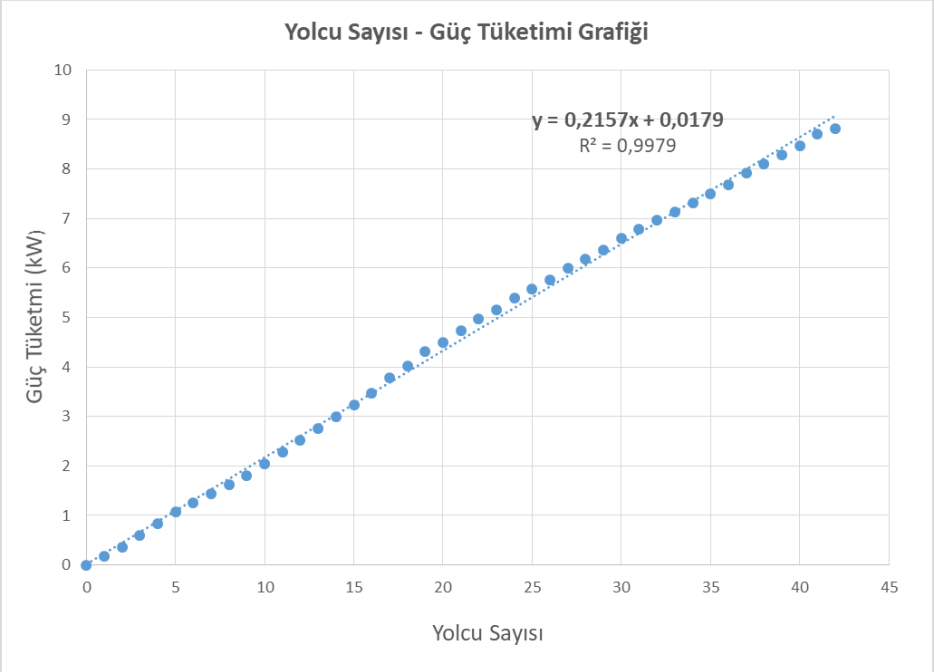
Şekil 5.14'deki grafikte aynı zaman aralığı için yolcu sayısı ile yürüyen merdivenin güç tüketimi değerleri arasındaki benzer değişim gösterilmişti. Bu değerler arasında lineer bir orantı söz konusudur.

Yürüyen merdivenin güç tüketiminin artan yolcu sayısı ile nasıl değiştiği belirlenebilir. Bunun için yüksüz çalışma durumundaki sabit güç değeri, yolcu varken tüketilen güç değerinden çıkarılarak yolculardan kaynaklanan değer elde edilmiştir. Yolcu sayısı ve güç tüketimi değerleri için oluşturulan tablo Çizelge 5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5. 5 Herbir yolcu sayısı için güç tüketim değerleri (YM14)

Güç (kW)	Yolcu Sayısı	Güç (kW)	Yolcu Sayısı	Güç (kW)	Yolcu Sayısı	Güç (kW)	Yolcu Sayısı	Güç (kW)	Yolcu Sayısı
0	0	1,8	9	4,02	18	6	27	7,68	36
0,18	1	2,04	10	4,32	19	6,18	28	7,92	37
0,36	2	2,28	11	4,5	20	6,36	29	8,1	38
0,6	3	2,52	12	4,74	21	6,6	30	8,28	39
0,84	4	2,76	13	4,98	22	6,78	31	8,46	40
1,08	5	3	14	5,16	23	6,96	32	8,7	41
1,26	6	3,24	15	5,4	24	7,14	33	8,82	42
1,44	7	3,48	16	5,58	25	7,32	34		
1,62	8	3,78	17	5,76	26	7,5	35		

Çizelge 5.5'de yolcu sayısı artışıyla birlikte tüketilen güç değerindeki artış miktarı görülebilmektedir. Belirlenen bu değerler arasındaki lineer değişimin görülmesi için Şekil 5.28'de verilen grafik oluşturulmuştur.



Şekil 5. 28 Yolcu sayısı ve güç tüketimi arasındaki değişim (YM14)

Yolcu sayıları ve güç tüketim değerleri kullanılarak, iki değer arasında bir denklem elde edilmiştir.

$$y = 0,2157 \cdot x + 0,0179 \tag{5.2}$$

Geliştirilen bu denklem (5.2), bundan sonraki benzer istasyonlar için de kullanılabilmesi, özellikle yolculuk sayıları elde edilerek yürüyen merdivenlerin güç tüketimine dair öngörülerin yapılmasına olanak sağlayabilecektir.

5.2.3 Yükleme Durumu Değerlerinin Belirlenmesi

Yürüyen merdivenlerin yükleme durumları inceleneceğinden, yolcu olmadığı durumdaki güç tüketimi minimum güç değeri (P_{min}) olarak kabul edilmiştir. Güç tüketimi grafiğindeki maksimum güç değeri ise en fazla yolcunun bulunduğu durumda yaşandığı için, o yürüyen merdiven için maksimum güç değeri (P_{max}) olarak kabul edilmiştir.

Minimum ve maksimum güç değerleri arasındaki farkın 0.25 , 0.50 ve 0.75 katları bulunup P_{min} değeri ile toplanarak yürüyen merdivenin %25, %50 , %75 yükleme koşullarındaki güç değerleri de elde edilmiştir.

Maksimum ve minimum yükleme durumları arasındaki fark ;

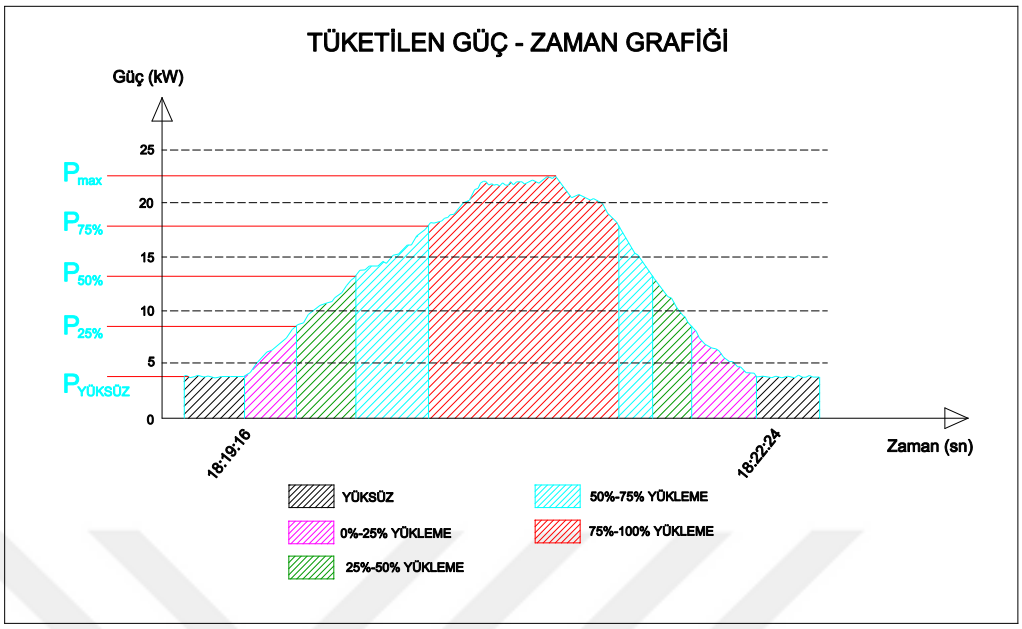
$P_{fark} = P_{max} - P_{min}$ olarak alınırsa,

- Boşta çalışma (yüksüz) güç değeri : P_{min}
- %25 yükleme altında güç değeri : $P_{\%25} = P_{fark} \times 0,25 + P_{min}$
- %50 yükleme altında güç değeri : $P_{\%50} = P_{fark} \times 0,50 + P_{min}$
- %75 yükleme altında güç değeri : $P_{\%75} = P_{fark} \times 0,75 + P_{min}$
- %100 yükleme altında güç değeri : P_{max} olarak bulunur.

Yürüyen merdivenlerin tasarımı aşamasında gün içinde belirlenen yükleme aralıklarında kaçar saat çalışacakları belirtilmektedir. Bu değerler merdivenin tasarımında referans değer olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada elde edilen veriler kullanılarak yürüyen merdivenlerin farklı yükleme durumlarındaki çalışma süreleri bulunacaktır.

Farklı yükleme aralıklarındaki çalışma oranı yüzdelerini bulmak için “Güç tüketimi – Zaman” grafiğinin altında kalan alanlar hesaplanmıştır (Şekil 5.29). Örneğin P_{max} ile $P_{\%75}$ değerleri arasında kalan alan hesaplanarak elde edilen veri, o yürüyen merdivenin çalışma süresi içerisinde belirtilen yük aralığındaki çalışma yüzdesi olarak kabul edilmiştir. Tüm aralıklar ve boşta çalışma (Pmin) yüzdeleri bu yöntemle belirlenmiştir.

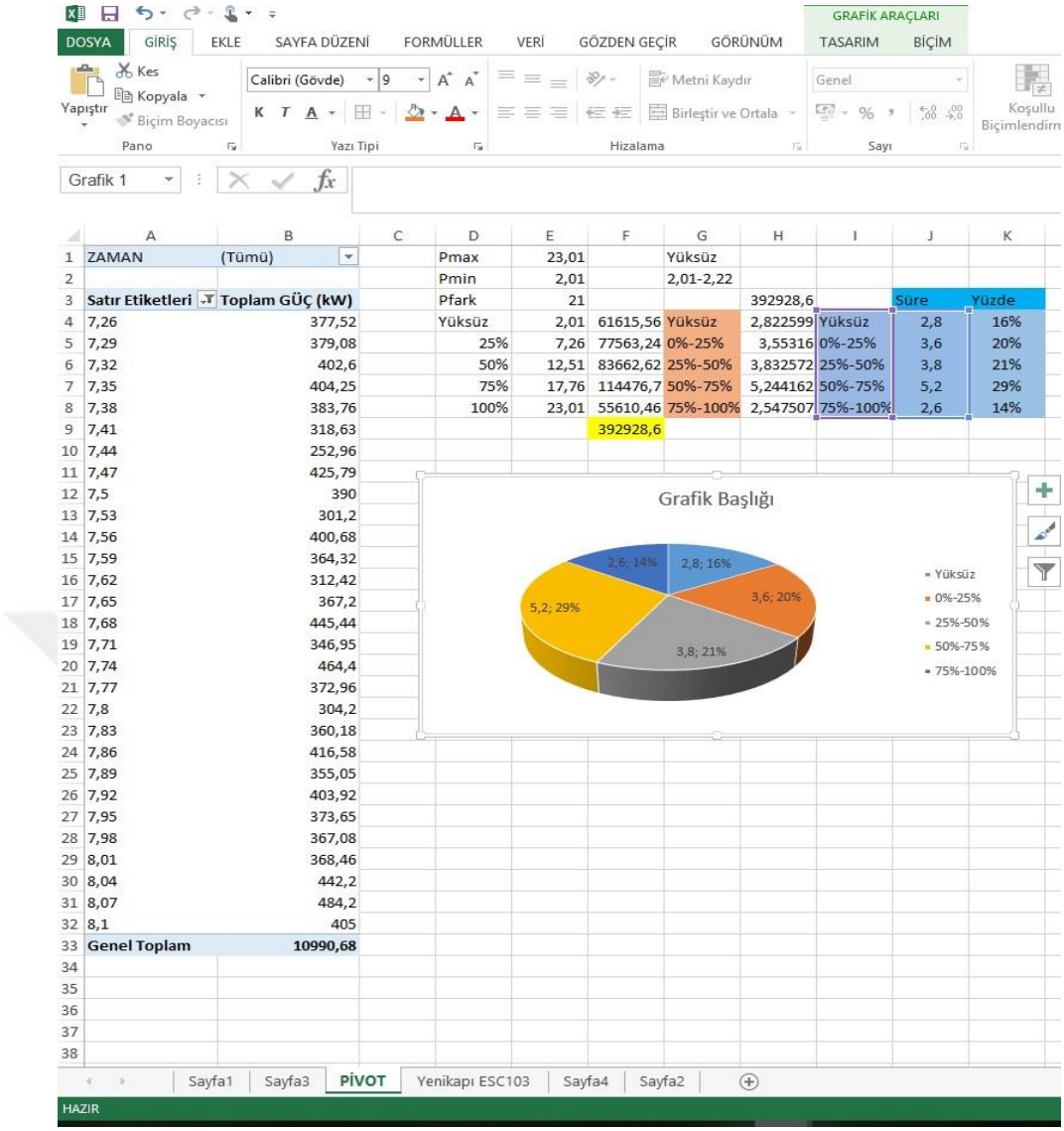
Durum Şekil 5.29'de verilen grafikte özetlenmiştir.



Şekil 5. 29 Yürüyen merdiven yükleme durumu grafiği

Yürüyen merdivenin çalışma saatleri içerisinde, herbir yükleme durumuna göre çalışma sürelerinin belirlenme yöntemi aşağıda açıklanmıştır.

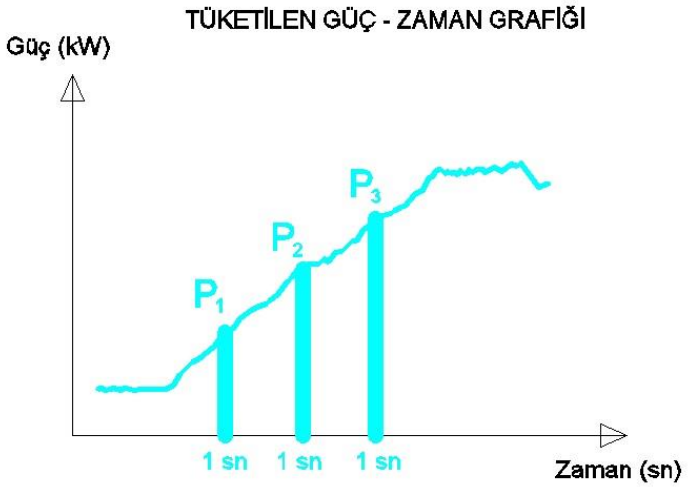
Güç analizörü ile elde edilmiş veriler, Excel ortamında tablo haline getirilmiştir. Farklı yükleme aralıklarındaki süre ve yüzdeleri bulunurken de Excel programının PİVOT (Şekil 5.30) özelliğinden yararlanılmıştır.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ZAMAN	(Tümü)		Pmax	23,01		Yüksüz				
2				Pmin	2,01		2,01-2,22				
3	Satır Etiketleri	Toplam GÜÇ (kW)		Pfark	21			392928,6		Süre	Yüzde
4	7,26	377,52		Yüksüz	2,01	61615,56	Yüksüz	2,822599	Yüksüz	2,8	16%
5	7,29	379,08		25%	7,26	77563,24	0%-25%	3,55316	0%-25%	3,6	20%
6	7,32	402,6		50%	12,51	83662,62	25%-50%	3,832572	25%-50%	3,8	21%
7	7,35	404,25		75%	17,76	114476,7	50%-75%	5,244162	50%-75%	5,2	29%
8	7,38	383,76		100%	23,01	55610,46	75%-100%	2,547507	75%-100%	2,6	14%
9	7,41	318,63				392928,6					
10	7,44	252,96									
11	7,47	425,79									
12	7,5	390									
13	7,53	301,2									
14	7,56	400,68									
15	7,59	364,32									
16	7,62	312,42									
17	7,65	367,2									
18	7,68	445,44									
19	7,71	346,95									
20	7,74	464,4									
21	7,77	372,96									
22	7,8	304,2									
23	7,83	360,18									
24	7,86	416,58									
25	7,89	355,05									
26	7,92	403,92									
27	7,95	373,65									
28	7,98	367,08									
29	8,01	368,46									
30	8,04	442,2									
31	8,07	484,2									
32	8,1	405									
33	Genel Toplam	10990,68									
34											
35											
36											
37											
38											

Şekil 5. 30 Microsoft Excel programı Pivot özelliği ile verilerin süzülmesi

Daha önce elde edilmiş olan Pmin, $P_{\%25}$, $P_{\%50}$, $P_{\%75}$ ve P_{max} güç değerleri sınır değerler kabul edilerek, bunlar arasındaki farklı yükleme koşullarındaki güç değerleri için veriler süzülmüş ve o aralıktaki toplam güç değeri bulunmuştur. Böylece Şekil 5.29'da gösterilmiş olan yükleme durumu alanlarını belirlemek için, belirlenen sınır güç değerleri arasında kalan 1 saniye süredeki güç tüketim değerleri kısmi alanlar olarak kabul edilmiş (Şekil 5.31) ve o yükleme aralığı için kısmi alanlar toplanmıştır.



Şekil 5. 31 Yükleme durumu alanlarının belirlenmesi

Elde edilen toplam güç değerine (çalışma süresi içerisindeki toplam güç tüketimi), ilgili yükleme durumundaki güç toplamı (Çizelge 5.6) bölünerek (18 saat çalışma süresine de oranlanarak) çalışma süreleri ve yüzdeleri bulunmuştur.

Çizelge 5. 6 Çalışma aralığına göre güç tüketim değerleri (YM4)

Yükleme Değeri	**Güç Değeri (kW)**		**Yükleme Durumu**	**Güç tüketimi (kW)**
%0	3,6		YÜKSÜZ	73.494,6
%25	8,3		%0-%25	135.757,9
%50	13,1		%25-%50	155.762,1
%75	17,8		%50-%75	111.248,7
%100	22,5		%75-%100	16.118,8
			Toplam	492.382,1

$$\text{çalışma süresi (t)} = \frac{\text{kısmi güç toplamı}(P) * \text{günlük çalışma süresi (18)}}{\text{toplam güç miktarı } (P_{Toplam})} \qquad (5.3)$$

$$\text{çalışma yüzdesi} = \frac{\text{çalışma süresi (t)} * 100}{\text{günlük çalışma süresi (18)}} \qquad (5.4)$$

Çizelge 5.6'da güç değerleri verilen YM4 nolu yürüyen merdiven için çalışma süresi ve çalışma yüzdesi değerleri örnek olarak hesaplanmıştır.

Yüksüz durumu için çalışma süresi ve yüzdesi denklem (5.3) ve (5.4)'den;

$$t_{min} = \frac{P_{min} * 18}{P_{Toplam}} = \frac{73.494{,}6 \times 18}{492.382{,}1} = 2{,}7\ saat$$

$$(\text{çalışma yüzdesi})_{min} = \frac{t_{min} * 100}{18} = \frac{2{,}7 \times 100}{18} \approx \%15$$

(%0-%25) yükleme durumu için çalışma süresi ve yüzdesi;

$$t_{(\%0-\%25)} = \frac{P_{(\%0-\%25)} * 18}{P_{Toplam}} = \frac{135.757{,}9 \times 18}{492.382{,}1} = 5\ saat$$

$$(\text{çalışma yüzdesi})_{(\%0-\%25)} = \frac{t_{(\%0-\%25)} * 100}{18} = \frac{5 \times 100}{18} \approx \%27$$

(%25-%50) yükleme durumu için çalışma süresi ve yüzdesi;

$$t_{(\%25-\%50)} = \frac{P_{(\%25-\%50)} * 18}{P_{Toplam}} = \frac{155.762{,}1 \times 18}{492.382{,}1} = 5{,}7\ saat$$

$$(\text{çalışma yüzdesi})_{(\%25-\%50)} = \frac{t_{(\%25-\%50)} * 100}{18} = \frac{5{,}7 \times 100}{18} \approx \%32$$

(%50-%75) yükleme durumu için çalışma süresi ve yüzdesi;

$$t_{(\%50-\%75)} = \frac{P_{(\%50-\%75)} * 18}{P_{Toplam}} = \frac{111.248{,}7 \times 18}{492.382{,}1} = 4{,}1\ saat$$

$$(\text{çalışma yüzdesi})_{(\%50-\%75)} = \frac{t_{(\%50-\%75)} * 100}{18} = \frac{4{,}1 \times 100}{18} \approx \%23$$

(75%-100%) yükleme durumu için çalışma süresi ve yüzdesi;

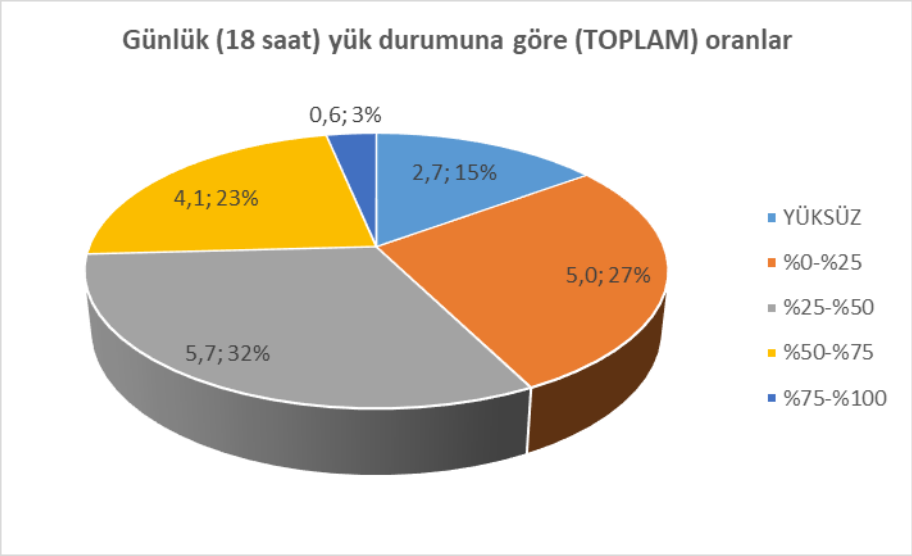
$$t_{(\%75-\%100)} = \frac{P_{(\%75-\%100)} * 18}{P_{Toplam}} = \frac{16.118{,}8 \times 18}{492.382{,}1} = 0{,}6\ saat$$

$$(\text{çalışma yüzdesi})_{(\%75-\%100)} = \frac{t_{(\%75-\%100)} * 100}{18} = \frac{0{,}6 \times 100}{18} \approx \%3$$

Elde edilen değerler Çizelge 5.7'de ve Şekil 5.32'de verilmiştir.

Çizelge 5. 7 Yükleme durumuna göre bir günlük çalışma süre ve yüzdeleri (YM4)

Yükleme Durumu	Süre (saat)	Çalışma Yüzdesi
YÜKSÜZ	2,7	%15
%0-%25	5,0	%27
%25-%50	5,7	%32
%50-%75	4,1	%23
%75-%100	0,6	%3



Şekil 5. 32 Yükleme durumuna göre çalışma süre ve yüzdelerinin gösterimi (YM4)

Örneğin yapılan hesaplama sonucu, ilgili merdivenin gün içinde P_{min} ile $P_{\%25}$ yükleri arasında 5 saat çalıştığı ve bu değerin günlük toplam çalışma süresinin %27'sine denk geldiği görülmektedir (Şekil 5.32).

Güç analizörü ile ölçüm yapılan tüm yürüyen merdivenler için yukarıda belirtilen yöntemle farklı yükleme durumları için çalışma süreleri ve yüzdeleri belirlenmiştir.

Tüm yürüyen merdivenler için hesaplanan çalışma süreleri ve yüzdeleri toplu olarak Çizelge 5.8 ve Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5. 8 Yükleme durumuna göre bir günlük çalışma süreleri (saat)

S.NO	İSTASYON	EKİPMAN NO	YÜKLEME DURUMU					TOPLAM (saat)
			Yüksüz	%0-%25	%25-%50	%50-%75	%75-%100	
1	İSTASYON-1	YM1	2,8	3,6	3,8	5,2	2,6	18
2	İSTASYON-2	YM2	5,4	4,9	4,0	2,9	0,8	18
3	İSTASYON-3	YM3	5,5	6,9	3,7	1,6	0,3	18
4	İSTASYON-4	YM4	2,7	5,0	5,7	4,1	0,6	18
5	İSTASYON-5	YM5	6,7	4,7	5,1	1,3	0,2	18
6	İSTASYON-6	YM6	3,5	7,7	5,1	1,5	0,2	18
7	İSTASYON-7	YM7	1,3	5,2	6,5	4,6	0,4	18
8	İSTASYON-8	YM8	1,7	11,8	2,9	1,2	0,4	18
9	İSTASYON-9	YM9	7,1	6,8	2,9	1,0	0,2	18
10	İSTASYON-10	YM10	2,2	7,7	3,2	3,0	1,9	18
11	İSTASYON-11	YM11	5,8	3,8	7,3	0,9	0,2	18
12	İSTASYON-12	YM12	12,1	5,0	0,8	0,1	0,03	18
13	İSTASYON-13	YM13	5,4	5,0	5,2	2,0	0,3	18
14	İSTASYON-13	YM14	6,2	3,9	3,4	3,6	0,9	18

Çizelge 5. 9 Yükleme durumuna göre bir günlük çalışma yüzdeleri

S.NO	İSTASYON	EKİPMAN NO	YÜKLEME DURUMU					TOPLAM
			Yüksüz	%0-%25	%25-%50	%50-%75	%75-%100	
1	İSTASYON-1	YM1	16%	20%	21%	29%	14%	100%
2	İSTASYON-2	YM2	30%	27%	22%	16%	5%	100%
3	İSTASYON-3	YM3	30%	38%	21%	9%	2%	100%
4	İSTASYON-4	YM4	15%	27%	32%	23%	3%	100%
5	İSTASYON-5	YM5	37%	26%	29%	7%	1%	100%
6	İSTASYON-6	YM6	20%	43%	28%	8%	1%	100%
7	İSTASYON-7	YM7	7%	29%	36%	26%	2%	100%
8	İSTASYON-8	YM8	9%	66%	16%	7%	2%	100%
9	İSTASYON-9	YM9	39%	38%	16%	6%	1%	100%
10	İSTASYON-10	YM10	12%	43%	18%	17%	10%	100%
11	İSTASYON-11	YM11	32%	21%	41%	5%	1%	100%
12	İSTASYON-12	YM12	67%	28%	4%	1%	0,17%	100%
13	İSTASYON-13	YM13	30%	28%	29%	11%	2%	100%
14	İSTASYON-13	YM14	35%	21%	19%	20%	5%	100%

5.2.4 Yükleme Durumu Ağırlık Katsayısı

Çizelge 5.7 ve 5.8'de ölçüm alınan yürüyen merdivenlerin her biri için farklı yükleme durumlarına göre çalışma süre ve yüzdeleri listelenmiştir. Söz konusu veriler incelendiğinde, özellikle yüksüz ve %75-%100 yükleme durumundaki değerler yürüyen merdiven yolcu yoğunluğuyla ilgili ön fikir vermektedir. Genelde yüksüz çalışma yüzdesi ne kadar yüksekse, %75-%100 yükleme durumundaki çalışma yüzde değeri ise ters orantıyla daha düşük değerdedir. Farklı yolcu sayıları ve farklı istasyon mimarileri gibi nedenlerle tam olarak doğru orantı söz konusu değildir.

Bu sebeple mevcut 5 yükleme durumu yüzdelerinin ortalama değeri elde edilecektir. Fakat her bir yükleme durumunda uygulanan yük farklı olduğundan, yükleme yüzdeleri belirlenen yükleme durumu katsayılarıyla çarpılarak hesaplama yapılacaktır.

Yüksüz, %0-%25, %25-%50, %50-%75 ve %75-%100 yükleme durumları için sırasıyla 1, 25, 50, 75 ve 100 yük katsayıları kullanılacaktır. Burada yüksüz durum için 1, diğer durumlar için yükleme durumunun en yüksek değeri alınmıştır.

Böylece bir yürüyen merdiven için ortalama yükleme durumu ağırlık katsayısı;

$$YD_{AK} = \frac{a \cdot YD_{yüksüz} + b \cdot YD_{(\%0-\%25)} + c \cdot YD_{(\%25-\%50)} + d \cdot YD_{(\%50-\%75)} + e \cdot YD_{(\%75-\%100)}}{YD_{toplam}} \quad (5.5)$$

formülüyle elde edilir.

Burada;

YD_{AK} : Yükleme durumu ağırlık katsayısı

$YD_{yüksüz}$: Yolcusuz (boşta) çalışma yüzdesi

$YD_{\%0-\%25}$: (%0-%25) yükleme aralığında çalışma yüzdesi

$YD_{\%25-\%50}$: (%25-%50) yükleme aralığında çalışma yüzdesi

$YD_{\%50-\%75}$: (%50-%75) yükleme aralığında çalışma yüzdesi

$YD_{\%75-\%100}$: (%75-%100) yükleme aralığında çalışma yüzdesi

a : Yolcusuz (boşta) çalışma yük katsayısı

b : (%0-%25) yükleme durumu için yük katsayısı

c : (%25-%50) yükleme durumu için yük katsayısı

d : (%50-%75) yükleme durumu için yük katsayısı

e : (%75-%100) yükleme durumu için yük katsayısıdır.

Çizelge 5.9'da çalışma yüzdeleri verilen İstasyon-7'deki yürüyen merdiven için çalışma yüzdeleri ve yük katsayıları dikkate alınarak örnek hesaplama yapılırsa;

$$YD_{AK} = \frac{1 \cdot 7 + 25 \cdot 29 + 50 \cdot 36 + 75 \cdot 26 + 100 \cdot 2}{100}$$

İstasyon-7 YM7 nolu yürüyen merdiven için ağırlık katsayısı $YD_{AK} = 0,47$ olarak elde edilir.

Diğer istasyonlar için de elde edilen değerler Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5. 10 Yükleme durumları yüzdelerine göre ağırlık katsayısı

S.NO	İSTASYON	EKİPMAN NO	YÜKLEME DURUMU					TOPLAM	AĞIRLIK KATSAYISI
			Yüksüz	%0-%25	%25-%50	%50-%75	%75-%100		
1	İSTASYON-1	YM1	16%	20%	21%	29%	14%	100%	0,51
2	İSTASYON-2	YM2	30%	27%	22%	16%	5%	100%	0,35
3	İSTASYON-3	YM3	30%	38%	21%	9%	2%	100%	0,29
4	İSTASYON-4	YM4	15%	27%	32%	23%	3%	100%	0,43
5	İSTASYON-5	YM5	37%	26%	29%	7%	1%	100%	0,28
6	İSTASYON-6	YM6	20%	43%	28%	8%	1%	100%	0,32
7	İSTASYON-7	YM7	7%	29%	36%	26%	2%	100%	0,47
8	İSTASYON-8	YM8	9%	66%	16%	7%	2%	100%	0,32
9	İSTASYON-9	YM9	39%	38%	16%	6%	1%	100%	0,23
10	İSTASYON-10	YM10	12%	43%	18%	17%	10%	100%	0,43
11	İSTASYON-11	YM11	32%	21%	41%	5%	1%	100%	0,31
12	İSTASYON-12	YM12	67%	28%	4%	1%	0,17%	100%	0,11
13	İSTASYON-13	YM13	30%	28%	29%	11%	2%	100%	0,32
14	İSTASYON-13	YM14	35%	21%	19%	20%	5%	100%	0,35

Böylece her bir yürüyen merdiven için, belirlenen yükleme durumlarındaki çalışma sürelerine (yüzdelerine) ve yük ağırlık katsayılarına bağlı olarak yükleme durumu ağırlık katsayısı elde edilmiştir.

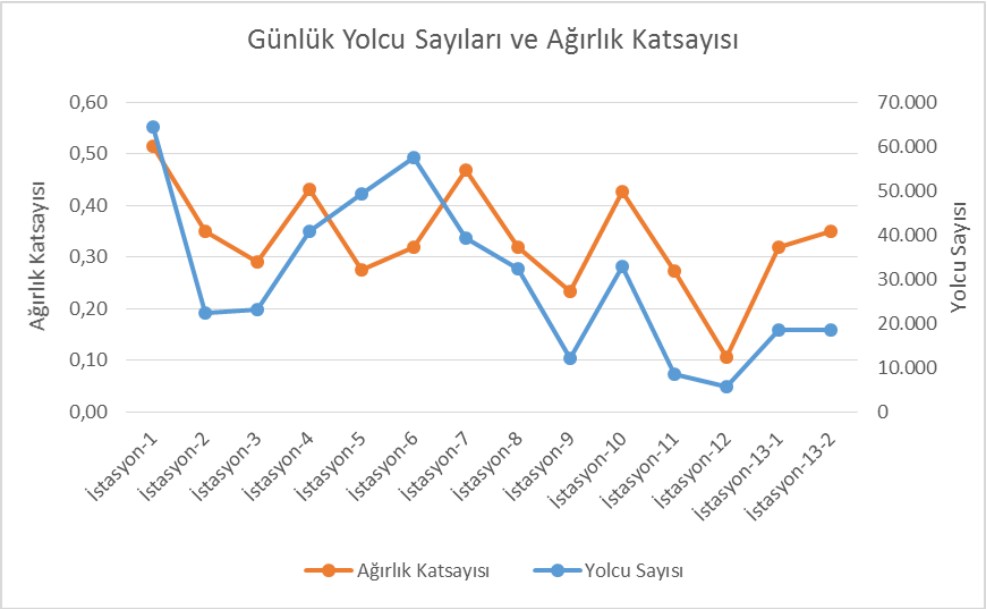
Çizelge 5.10'daki veriler incelendiğinde, yolcu yoğunluğunun dolayısıyla yük miktarının fazla olduğu İstasyon-1, İstasyon-4, İstasyon-7, İstsasyon-10 gibi istasyonlarda ağırlık katsayısı daha yüksek çıkmaktadır.

Çizelge 5.11'de istasyonların bulunduğu metro hattının belirli bir süre için ölçülmüş aylık ve ortalama günlük yolcu sayıları verilmiştir.

Çizelge 5. 11 İstasyon aylık ve günlük yolcu sayıları

S.NO	İSTASYON	YOLCU SAYISI	
		AYLIK	GÜNLÜK
1	İstasyon-1	1.932.101	64.403
2	İstasyon-2	668.886	22.296
3	İstasyon-3	693.885	23.130
4	İstasyon-4	1.223.332	40.778
5	İstasyon-5	1.482.077	49.403
6	İstasyon-6	1.724.097	57.470
7	İstasyon-7	1.177.234	39.241
8	İstasyon-8	970.008	32.334
9	İstasyon-9	363.546	12.118
10	İstasyon-10	986.355	32.879
11	İstasyon-11	255.138	8.505
12	İstasyon-12	174.691	5.823
13	İstasyon-13	553.441	18.448

Çizelge 5.11'da verilmiş olan günlük istasyon yolcu sayıları, Çizelge 5.10'daki ağırlık katsayıları ile aynı grafik (Şekil 5.33) üzerinde gösterilerek kıyaslanmıştır.

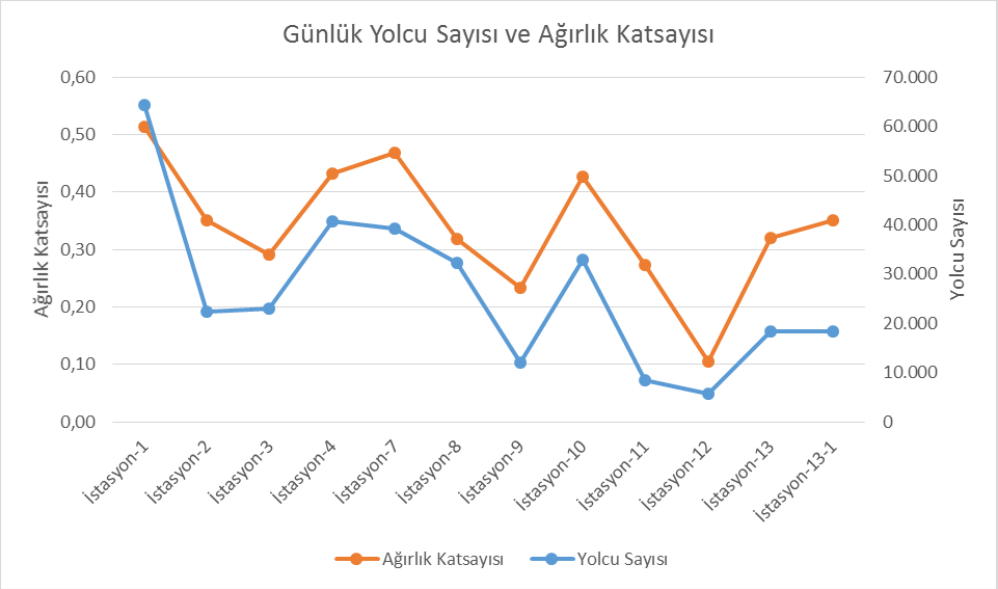


Şekil 5. 33 Ortalama günlük yolcu sayıları ve ağırlık katsayıları (14 merdiven)

Şekil 5.33'de verilen grafikte yer alan ortalama günlük yolcu sayıları ve ağırlık katsayıları değerleri incelendiğinde benzer değişimin olduğu görülmektedir. Grafikte ağırlık katsayısı değeri düştükçe veya arttıkça, benzer davranış yolcu sayısı değerlerinde de gözükmektedir.

Şekil 5.33'deki veriler içerisinde iki noktada düzenliksizlik söz konusudur. İstasyon-5 ve İstasyon-6 istasyonlarında yolcu sayıları artmasına rağmen, ağırlık katsayısı değerleri azalmaktadır. Bu istasyonlardaki yürüyen merdivenler teknik olarak incelendiğinde İstasyon-5 ve İstasyon-6'da yer alan yürüyen merdivenlerin sırasıyla 17,71 m ve 18,8 m yükseklikte oldukları görülmektedir. Bu iki yürüyen merdiven dışındaki diğer merdivenler ise ortalama 12 m yükseklik ölçüsündedirler.

Bu iki yürüyen merdiven verilerinin diğer yürüyen merdivenlere göre farklı davranış göstermeleri, yükseklik farkından kaynaklandığı kabul edilerek grafikten çıkarılmış ve grafik tekrar oluşturulmuştur (Şekil 5.34).



Şekil 5. 34 Ortalama günlük yolcu sayıları ve ağırlık katsayıları (12 merdiven)

Şekil 5.34'de verilen grafikte aynı boyutlardaki yürüyen merdivenler için elde edilen ağırlık yüzdeleri ile bulundukları istasyonun günlük yolcu sirkülasyonu arasında orantı olduğu görülmektedir.

Her bir yürüyen merdiven için elde edilen yükleme durumu ağırlık katsayı değerleri, yürüyen merdivenlerin bulunduğu istasyonların yolcu sayıları ve yürüyen merdiven doluluk oranı (faktörü) ile ilişki kurularak değerlendirilecektir.

5.3 Doluluk Faktörü

(4.11) nolu denklemde yürüyen merdiven üzerinde maksimum doluluk oranına bağlı olarak yük hesabı verilmişti. Burdan elde edilen sonucun yürüyen merdivenin güç ve mukavemet hesaplarında kullanılması ile aslında tüm çalışma süresi içirinde %100 yükte (statik) çalışan ekipman tasarımı yapılmaktadır (Çizelge 5.12).

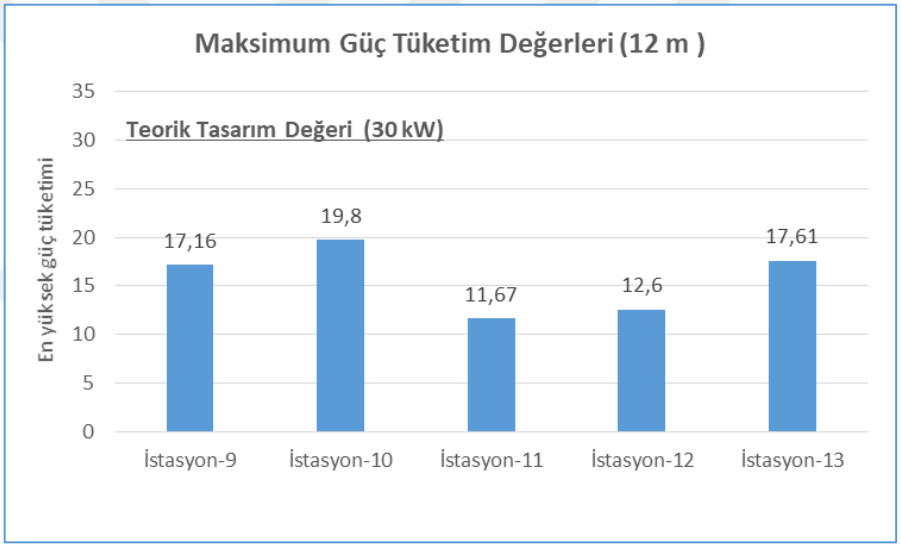
Çizelge 5. 12 100% yük altında yükleme durumu

İSTASYON	YÜKLEME DURUMU					TOPLAM
	Yüksüz	0%-25%	25%-50%	50%-75%	75%-100%	
İSTASYON-1	0%	0%	0%	0%	100%	100%

Çizelge 5.12'de verilen çalışma yüzdelerine göre yürüyen merdiven için motor gücü ve mukavemet hesaplarında kullanılmak üzere hesaplanan yolcu yükü formülünde doluluk

faktörü değeri (ψ) 1 olarak alınır. Çizelge 5.10'da, yükleme durumu yüzderine bağlı olarak verilen ağırlık katsayısı kullanılarak doluluk faktörü değeri 1'den daha düşük bir değer olarak alınabilir. Yürüyen merdiven üreticileri tecrübeye dayanarak, yürüyen merdivenler için yolcu yoğunluğuna bağlı doluluk faktörü değerini 0,7 ile 1 aralığında almaktadırlar. Genel uygulamada ticari tip merdivenler için 0,7 , ağır hizmet tipi yürüyen merdivenler için 1 alınmaktadır.

Yükseklik ölçüleri aynı değerde olan yürüyen merdivenlerin teorik tasarım gücü ve gerçek durumda ölçülmüş en büyük güç tüketim değeri Şekil 5.35'de verilmiştir. İstasyonun yolcu yoğunluğu dikkate alınmaz ise aynı yükseklikte ve aynı çalışma hızındaki tüm merdivenler için motor gücü 30 kW olarak hesap edilecektir. Mevcuttaki yürüyen merdivenler de bu şekilde tasarlanmıştır.



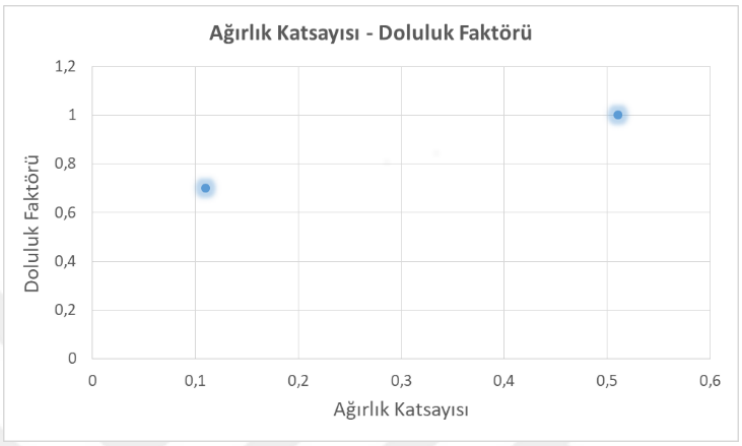
Şekil 5. 35 Yürüyen merdiven maksimum tüketilen güç değerleri

Şekil 5.35'de de görüldüğü üzere istasyonların yolcu yoğunluğuna, dolayısıyla yolcu yüküne bağlı en yüksek güç tüketim değeri teorik değere göre daha düşük olabilmektedir. Dolayısıyla ağır hizmet tipi yürüyen merdivenlerin yolcu yükü hesabında 1 olarak alınan doluluk faktörü değeri düşürülerek, öngörülen gerçek durumdaki yolcu yoğunluğuna göre tasarım yapılabilir.

Yürüyen merdivenin doluluk faktörü belirlenirken farklı yükleme durumlarındaki çalışma yüzdelerinin değerleri önemlidir. Dolayısıyla Çizelge 5.10'da verilen ağırlık katsayıları, doluluk faktörü değerine benzetilerek hesaplamalarda kullanılabilir.

Yürüyen merdiven üreticilerinin uygulamada kullandıkları maksimum ve minimum doluluk faktörü değerleri referans alınırsa, Çizelge 5.9'daki en büyük ağırlık katsayısı 1'e, en küçük değer 0,7'ye eşitlenecek ve aradaki değerler de enterpolasyonla elde edilecektir.

Çizelge 5.9'da en yüksek ağırlık katsayısı değeri 0,51 , en küçük değer ise 0,11 dir.



Şekil 5. 36 Ağırlık katsayısı ile doluluk faktörü noktaları

Şekil 5.36'da da görüldüğü üzere 0,51 ve 0,11 ağırlık katsayıları değerleri sırasıyla 1 ve 0,7 doluluk faktörü değerlerine eşitlenerek, ağırlık katsayısının diğer değerleri içinde doluluk faktörü değerleri elde edilecektir.

y=ax + b denkleminde y doluluk faktörü ve x ağırlık katsayısı olmak üzere;

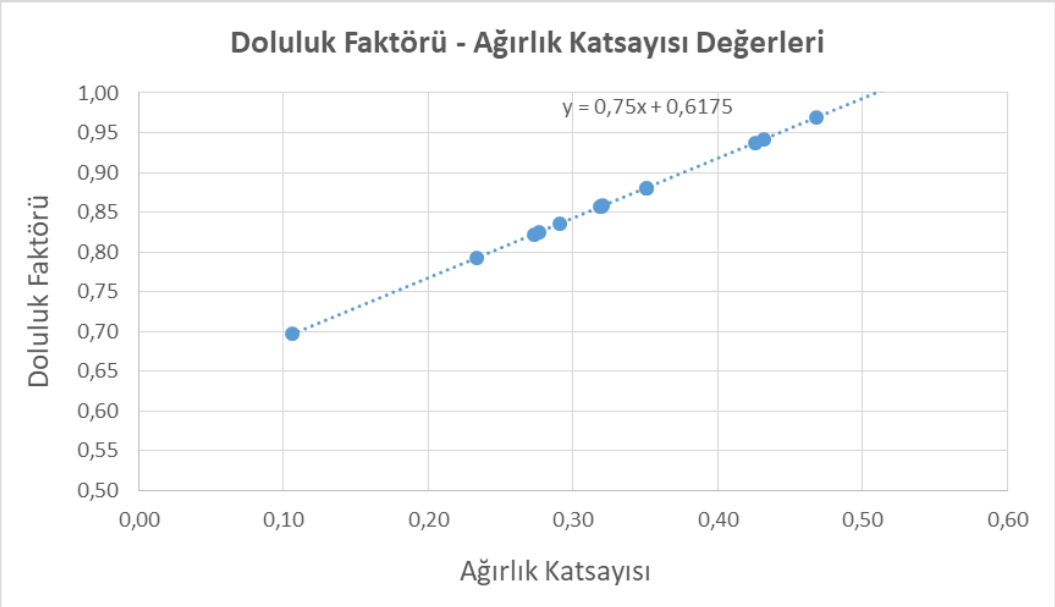
$1 = a \cdot 0{,}51 + b$ ve $0{,}7 = a \cdot 0{,}11 + b$ denklemleri elde edilir ve denklem çözümlenip, a ve b katsayıları elde edilirse ağırlık katsayısı ve doluluk faktörü arasındaki ilişkiyi veren denklem elde edilir.

$$y = 0{,}75 \cdot x + 0{,}6175 \qquad (5.6)$$

Denklem (5.6) kullanılarak diğer ağırlık katsayısı değerleri için de doluluk faktörü değerleri elde edilmiştir (Çizelge 5.13, Şekil 5.37).

Çizelge 5. 13 Ağırlık katsayısına bağlı olarak doluluk faktörünün bulunması

S.NO	İSTASYON	EKİPMAN NO	AĞIRLIK KATSAYISI	DOLULUK FAKTÖRÜ
1	İSTASYON-1	YM1	0,51	1,00
2	İSTASYON-2	YM2	0,35	0,88
3	İSTASYON-3	YM3	0,29	0,84
4	İSTASYON-4	YM4	0,43	0,94
5	İSTASYON-5	YM5	0,28	0,82
6	İSTASYON-6	YM6	0,32	0,86
7	İSTASYON-7	YM7	0,47	0,97
8	İSTASYON-8	YM8	0,32	0,86
9	İSTASYON-9	YM9	0,23	0,79
10	İSTASYON-10	YM10	0,43	0,94
11	İSTASYON-11	YM11	0,31	0,85
12	İSTASYON-12	YM12	0,11	0,70
13	İSTASYON-13	YM13	0,32	0,86
14	İSTASYON-13	YM14	0,35	0,88



Şekil 5. 37 Doluluk faktörü – ağırlık katsayısı grafiği

Çizelge 5.13'de verilmiş olan ağırlık katsayısı ve doluluk faktörü değerlerinden yararlanılarak ortalama 3 doluluk faktörü değeri elde edilmiştir. Bu değerlere de bağlı olarak ağır hizmet tipi yürüyen merdivenler, yolcu yoğunluğuna bağlı olarak 3 sınıfa ayrılmıştır (Çizelge 5.14).

Çizelge 5. 14 Ağır hizmet tipi yürüyen merdivenler için doluluk faktörü değerleri

AĞIR HİZMET TİPİ YÜRÜYEN MERDİVENLER	YÜKLEME DURUMU AĞIRLIK KATSAYISI	DOLULUK FAKTÖRÜ
A Sınıfı	$0,4 \leq YD_{AK}$	$\psi = 1$
B Sınıfı	$0,2 \leq YD_{AK} < 0,4$	$\psi = 0,85$
C Sınıfı	$YD_{AK} < 0,2$	$\psi = 0,7$

5.4 Örnek Hesaplamalar

Belirlenen ağır hizmet tipi yürüyen merdiven sınıfına göre doluluk faktörünün yürüyen merdiven hesaplamasına etkisini görebilmek için, doluluk faktörünün alt ve üst sınır değerleri kullanılarak örnek motor gücü hesabı yapılacaktır. Hesaplamalar klasik yönteme göre yapılacak olup, yürüyen merdivenin teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

H= 8 m	R_{alt}=2 m	m= 75 kg	μ_1= 0,01
L= 16 m	$R_{üst}$=2,6 m	m_b=11,5 kg	μ_2= 0,045
L_1=13,8 m	t_b=0,405 m	m_z=9,6 kg	μ_3= 0,2
l_1=0,3 m	α=30°	m_e= 1,5 kg	μ_4= 0,25
l_2=1,2 m	β=30°	m_p=0,5 kg	k_t= 0,06
l_3=1,5 m	θ=15°	C_t=1,1	p=13,33 cm
l_4=1,5 m	d_1=2,2 cm	D_1=10 cm	z= 21
l_5=1,7 m	d_2=10 cm	η= 0,92	g=9,81 m/s^2
$P_{K.sistemi}$= 0,4 kW	d_3= 2,2 cm	d_e=0,7 m	q_0=F_5=2500 N

Zincir tekerleklerinin doğrusal hareketine karşı raylar üzerindeki direnç katsayısı denklem (4.8)'den;

$$w = \frac{1{,}1 \cdot \left(0{,}01 \cdot 2{,}2 + 2 \cdot 0{,}06\right)}{10} = 0{,}015$$

Basamakların ağırlığından dolayı metre başına düşen yük denklem (4.9)'dan;

$$q_{basamak} = \frac{11{,}5 \cdot 9{,}81}{0{,}405} = 278{,}6 \quad [\text{N}]$$

Basamak zinciri ağırlığından dolayı metre başına düşen yük denklem (4.10)'dan;

$$q_{zincir} = 9{,}6 \cdot 9{,}81 = 94{,}2 \quad [\text{N}]$$

Yolcu ağırlığından dolayı metre başına düşen yük denklem (4.11)'den;

$$q_{yolcu} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 75 \cdot 9{,}81}{0{,}405} = 3633{,}3 \quad [\text{N}]$$

Basamak zinciri dişlisi taksimat dairesi çapı denklem (4.13)'den;

$$D_{bd} = \frac{13{,}33}{\sin\left(\frac{180°}{21}\right)} = 85{,}2 \quad [\text{cm}]$$

Zincirin dişli üzerinde hareket ederken oluşan direnç katsayısı denklem (4.12)'den;

$$k_{dişli} = 1 + \frac{2}{85{,}2} \cdot \left(\sin\left(\frac{180°}{2}\right) \cdot 10 \cdot 0{,}045 + 2{,}2 \cdot 0{,}2 \right) = 1{,}02$$

Şekil 4.6'da belirtilen yük noktalarına göre hesaplamalar yapılacaktır.

6 noktasındaki yük miktarı denklem (4.14)'den;

$$F_6 = 2500 + \left(\frac{278{,}6}{2} + 94{,}2 \right) \cdot 1{,}5 \cdot 0{,}015 = 2505{,}5 \quad [\text{N}]$$

7 noktasındaki yük miktarı denklem (4.15)'den;

$$F_7 = 1{,}02 \cdot 2505{,}5 = 2557{,}8 \quad [\text{N}]$$

8 noktasındaki yük miktarı denklem (4.16)'dan;

$$F_8 = 2557,8 + \left(\frac{278,6}{2} + 94,2\right)\cdot 1,5\cdot 0,015 + \frac{3633,3}{2}\cdot 1,2\cdot 0,015 = 2597,3 \text{ [N]}$$

9 noktasındaki yük miktarı denklem (4.17)'den;

$$F_9 = 2597,3\cdot e^{0,015\cdot 0,5236} + \left(\frac{278,6}{2} + 94,2 + \frac{3633,3}{2}\right)\cdot\left(+\sin 15° - w\cdot\cos 15°\right)\cdot 2\cdot\frac{e^{0,015\cdot 0,5236}-1}{0,015}$$

$$F_9 = 3252,8 \text{ [N]}$$

10 noktasındaki yük miktarı denklem (4.18)'den;

$$F_{10} = 3252,8 + \left(\frac{278,6}{2} + 94,2 + \frac{3633,3}{2}\right)\cdot\left(13,8\cdot 0,015 + 8\right) = 20097,5 \text{ [N]}$$

11 noktasındaki yük miktarı denklem (4.19)'dan;

$$F_{11} = 20097,5\cdot e^{0,015\cdot 0,5236} + \left(\frac{278,6}{2} + 94,2 + \frac{3633,3}{2}\right)\cdot\left(+\sin 15° + w\cdot\cos 15°\right)\cdot 2,6\cdot\frac{e^{0,015\cdot 0,5236}-1}{0,015}$$

$$F_{11} = 21170 \text{ [N]}$$

12 noktasındaki yük miktarı denklem (4.20)'den;

$$F_{\max} = F_{12} = 21170 + \left(\frac{278,6}{2} + 94,2\right)\cdot 1,5\cdot 0,015 + \frac{3633,3}{2}\cdot 1,2\cdot 0,015 = 21209,6 \text{ [N]}$$

4 noktasındaki yük miktarı denklem (4.21)'den;

$$F_4 = \frac{\left(2500 - \left(\frac{278,6}{2} + 94,2\right)\cdot\left(-\sin 15° - w\cdot\cos 15°\right)\cdot 2\cdot\frac{e^{0,015\cdot 0,5236}-1}{0,015}\right)}{e^{0,015\cdot 0,5236}} = 2554,8 \text{ [N]}$$

3 noktasındaki yük değeri denklem (4.22)'den;

$$F_3 = 2554,8 - \left(\frac{278,6}{2} + 94,2\right)\cdot 13,8\cdot 0,015 + \left(\frac{278,6}{2} + 94,2\right)\cdot 8 = 4371,9 \text{ [N]}$$

2 noktasındaki yük değeri denklem (4.23)'den;

$$F_2 = \frac{\left(4371,9 - \left(\frac{278,6}{2} + 94,2\right) \cdot (-\sin 15° + w \cdot \cos 15°) \cdot 2,6 \cdot \frac{e^{0,015 \cdot 0,5236} - 1}{0,015}\right)}{e^{0,015 \cdot 0,5236}} = 4403,2 \text{ [N]}$$

1 noktasındaki yük değeri denklem (4.24)'den;

$$F_1 = 4403,2 - \left(\frac{278,6}{2} + 94,2\right) \cdot 1,5 \cdot 0,015 = 4397,7 \text{ [N]}$$

Her bir zincire etkiyen çekme kuvveti (F_{zincir}) denklem (4.25)'den;

$$F_{zincir} = 21209,6 - 4397,7 + (212096 + 4397,7) \cdot (1,02 - 1) = 17347 \text{ [N]}$$

Elbandı faktörü denklem (4.27)'den;

$$k_e = \pi \cdot 0,7 + 2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1,7 = 8,6 \text{ [m]}$$

Elbandına uygulanan ön gerilme değeri (F_{e0}) 100 N olarak alınacaktır.

Böylece 1 noktasındaki gerilme değeri denklem (4.28)'den;

$$F_{e1} = 100 + \left(\frac{8,6}{4} - 0,7 \cdot \frac{\pi}{4}\right) \cdot 1,5 \cdot 0,25 \cdot 9,81 = 105,9 \text{ [N]}$$

2 noktasındaki gerilme değeri denklem (4.29)'dan;

$$F_{e2} = 105,9 \cdot e^{0,25 \cdot 0,5236} = 120,7 \text{ [N]}$$

3 noktasındaki gerilme değeri denklem (4.30)'dan;

$$F_{e3} = 120,7 + \frac{8}{\sin(30°)} \cdot 1,5 \cdot 0,25 \cdot \cos(30°) \cdot 9,81 - 1,5 \cdot 8 \cdot 9,81 = 53,9 \text{ [N]}$$

4 noktasındaki gerilme değeri denklem (4.31)'den;

$$F_{e4} = 53,9 \cdot e^{0,25 \cdot 0,5236} = 61,5 \text{ [N]}$$

5 noktasındaki gerilme değeri denklem (4.32)'den;

$$F_{e5} = 61,5 + \left(\frac{8,6}{4} - 0,7 \cdot \frac{\pi}{4}\right) \cdot 1,5 \cdot 0,25 \cdot 9,81 = 67,4 \text{ [N]}$$

6 noktasındaki gerilme değeri denklem (4.33)'den;

$$F_{e6} = 67,4 \cdot e^{0,25 \cdot \pi} = 147,8 \text{ [N]}$$

7 noktasındaki gerilme değeri denklem (4.34)'den;

$$F_{e7} = 147,8 + \left(\frac{8,6}{4} - 0,7 \cdot \frac{\pi}{4} \right) \cdot (1,5 + 0,5) \cdot 0,25 \cdot 9,81 = 155,6 \text{ [N]}$$

8 noktasındaki gerilme değeri denklem (4.35)'den;

$$F_{e8} = 155,6 \cdot e^{0,25 \cdot 0,5236} = 177,4 \text{ [N]}$$

9 noktasındaki gerilme değeri denklem (4.36)'dan;

$$F_{e9} = 177,4 + \left[(1,5 + 0,5) \cdot \left(8 \cdot \frac{\cos(30°)}{\sin(30°)} \cdot 0,25 \right) + 8 \cdot (1,5 + 0,5) \right] \cdot 9,81 = 402,3 \text{ [N]}$$

10 noktasındaki gerilme değeri denklem (4.37)'den;

$$F_{e10} = 402,3 \cdot e^{0,25 \cdot 0,5236} = 458,6 \text{ [N]}$$

11 noktasındaki gerilme değeri denklem (4.38)'den;

$$F_{e11} = 458,6 + \left(\frac{8,6}{4} - 0,7 \cdot \frac{\pi}{4} \right) \cdot (1,5 + 0,5) \cdot 0,25 \cdot 9,81 = 466,4 \text{ [N]}$$

12 noktasındaki gerilme değeri denklem (4.39)'dan;

$$F_{e12} = 466,4 \cdot e^{0,25 \cdot \pi} = 1023 \text{ [N]}$$

Tek taraftaki elbandına etkiyen toplam gerilme değeri denklem (4.40)'dan;

$$F_{elbandı} = 1023 - 105,9 = 917,1 \text{ [N]}$$

olarak elde edilir.

Yürüyen merdiven için gerekli toplam güç miktarı denklem (4.41)'den;

$$N = \frac{2 \cdot 0,65 \cdot (17347 + 917,1)}{1000 \cdot \eta} + 0,4 = 26,2 \text{ [kW]}$$

Böylece doluluk faktörü 1 olarak alındığında 8 m yüksekliğindeki yürüyen merdivenin tahrik motoru ihtiyacı 26,2 kW'tır. Aynı hesaplama doluluk değeri 0,7 alınıp hesaplamalar yapılırsa;

$w = 0,015$

$q_{basamak} = 278,6$ [N]

$q_{zincir} = 94,2$ [N]

Yolcu ağırlığından dolayı metre başına düşen yük denklem (4.11)'den;

$\psi = 0,7$ alınırsa,

$$q_{yolcu} = \frac{0,7 \cdot 2 \cdot 75 \cdot 9,81}{0,405} = 2543,3 \text{ [N]}$$

$D_{bd} = 85,2$ [cm]

$k_{dişli} = 1,02$

$F_5 = 2500$ [N]

$F_6 = 2505,5$ [N]

$F_7 = 2557,8$ [N]

$F_8 = 2587,1$ [N]

$F_9 = 3073,9$ [N]

$F_{10} = 15440,6$ [N]

$F_{e11} = 16233,8$ [N]

$F_{12} = F_{\max} = 16263$ [N]

$F_4 = 2554,8$ [N]

$F_3 = 4371,9$ [N]

$F_2 = 4403,2$ [N]

$F_1 = 4397,7$ [N]

$F_{zincir} = 16263 - 4397,7 + (16263 + 4397,7) \cdot (1,02 - 1) = 12297$ [N]

$k_e = 8,6$ [m]

$F_{e0} = 100$ [N]

$F_{e1} = 105,9$ [N]

$F_{e2} = 120,7$ [N]

$F_{e3} = 53,9$ [N]

$F_{e4} = 61,5$ [N]

$F_{e5} = 67,4$ [N]

$F_{e6} = 147,8$ [N]

$F_{e7} = 155,6$ [N]

$F_{e8} = 177,4$ [N]

$F_{e9} = 402,3$ [N]

$F_{e10} = 458,6$ [N]

$F_{e11} = 466,4$ [N]

$F_{e12} = 1023$ [N]

$F_{elbandı} = 1023 - 105,9 = 917,1$ [N]

$$N = \frac{2 \cdot 0,65 \cdot (12297 + 917,1)}{1000 \cdot \eta} + 0,4 = 19,07 \text{ [kW]}$$

Böylece doluluk faktörü değeri 1 alınırsa 26,2 kW olarak hesaplanan güç değeri, doluluk faktörü 0,7 olarak alınırsa 19,07 kW değerine düşmektedir.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yürüyen merdivenlerin çalışma prensibi ve alt ekipmanları genel olarak tanıtılmıştır. Basamak, zincir ve yolcu yükünden dolayı oluşan yüklerin hesaplama yöntemi, apron konveryör tasarımına benzetilerek gösterilmiştir. Daha sonra yürüyen merdivenlerle ilgili uluslararası standartlar incelenmiştir.

Son olarak tasarım aşamasında en önemli parametre olan yolcu yükünün çalışma süresi içerisinde değişimini tespit etmek için, güç analizörü ve kamera görüntüleri kullanılarak veriler elde edilmiştir. Aynı süre için elde edilen veriler kıyaslandığında, yolcu sayısı ve güç tüketimi değerlerinin zamana bağlı değişiminin çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Böylece ölçülen güç tüketim değerlerinin, yürüyen merdivenin yolcu yoğunluğunu gösteren bir parametre olduğu doğrulanmıştır.

İstanbul metrosunda seçilen bazı istasyonlardaki yürüyen merdivenlerin güç tüketim ölçümleri yapılmış, elde edilen veriler kullanılarak yüksüz, %25, %50, %75 ve %100 yükleme değerleri elde edilerek günlük çalışma süresi içerisinde bu yükleme aralıklarındaki çalışma süreleri ve yüzdeleri bulunmuştur.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, her bir yürüyen merdivenin değişik yükleme durumu koşullarında farklı yüzdesel değerlerde çalıştığı görülmüştür. Bazı yürüyen merdivenler yüksek oranda yüksüz durumda çalışırken, bazıları ise maksimum yükleme durumunda daha yüksek oranda çalışmaktadır. Çalışma yüzdeleri değerleri ekipmanların bulunduğu istasyonların yolcu yoğunluğu hakkında fikir vermektedir.

Bu yükleme durumu yüzdeleri belirlenen yük katsayılarıyla çarpılarak, yükleme durumu ağırlık katsayısı değerleri elde edilmiştir. Belirlenen istasyondaki yürüyen merdivenin

ağırlık katsayısı, istasyonun günlük yolcu sayıları ile beraber değerlendirildiğinde ikisi arasında da yine bir orantı olduğu görülmüştür. İstasyonlar birbiri ile kıyaslandığında, istasyonun yolcu sayısı artarsa ağırlık katsayısı değeri de artmakta, yolcu sayısı azalırsa ağırlık katsayısı da benzer oranda düşmektedir (Şekil 5.34). Bu durum aynı boyutsal ölçülere sahip yürüyen merdivenler için geçerlidir.

Yürüyen merdivenlerin çalışma süresi içerisinde maksimum yük altında çektiği güç değerleri ile bulundukları istasyonun yolcu sayısı ve ağırlık katsayısı arasında yine benzer bir orantı söz konusudur (Şekil 5.35).

Doluluk faktörü yürüyen merdivenin motor gücü ve diğer alt ekipmanlarının kapasite ve mukavemet hesaplarında kullanılan önemli bir parametredir. Ağır hizmet tipi yürüyen merdivenler için teorik hesapta 1 olarak alınan bu değer, ağırlık katsayıları ile ilişkilendirilerek yolcu yoğunluğuna göre daha düşük bir değerde kullanılabilir.

Uygulamada üreticiler doluluk faktörü değerini ticari tip yürüyen merdivenler için 0,7 , ağır hizmet tipi yürüyen merdivenler için 1 almaktadırlar. Yükleme durumları çalışma yüzdesi değerleri kullanılarak elde edilen ağırlık katsayılarının en büyük değeri 1'e, en küçük değeri 0,7'ye eşitlenmiş ve lineer enterpolasyonla her bir ağırlık katsayısı için doluluk faktörü değeri elde edilmiştir.

Elde edilen bu doluluk faktörü değerleri göz önüne alınarak ağır hizmet tipi yürüyen merdivenler üç gruba ayrılmıştır. Böylece yükleme durumu çalışma yüzdeleri ve yük katsayılarına bağlı olarak teorik hesaplamalarda kullanılacak doluluk faktörü değeri için 0.7, 0.85 ve 1 değerleri belirlenmiştir (Çizelge 5.14).

Doluluk faktörü değerinin 1'den küçük alınması durumunda yürüyen merdivenin bulunduğu yapının yolcu yoğunluğuna bağlı olarak tahrik grubu elemanları, basamak zinciri, zincir tekerlekleri, rulmanlar, vb. gibi ekipmanların daha alt ürün guruplarından seçilmesi mümkün olabilecektir. Böylece gereksiz aşırı tasarımın önüne geçilerek, ilk yatırım maliyeti açısıdan tasarruf edilmesi sağlanabilir. Yapılan örnek hesaplamada doluluk faktörü değerinin 1 yerine 0,7 alınması durumunda motor gücü değeri yaklaşık %35 oranında düştüğü görülmüştür.

Yürüyen merdivenler üzerinde yolcu yokken sabit bir güç tüketirken, üzerindeki yolcu sayısı arttıkça tüketilen güç değeri de orantılı olarak artmaktadır. Yüksüz durumda

tüketilen güç değeri ihmal edilirse, herbir yolcu artışındaki güç tüketimi değerleri elde edilebilir. Bu çalışmada kullanılan YM14 nolu yürüyen merdiven için bu durum gözlenmiş ve yolcu sayısına bağlı bir denklem oluşturulmuştur (Denklem 5.2). Elde edilen bu denklemin, gözlem yapılan istasyon verileri için uygunluğu ayrıca teyit edilmiştir. Geliştirilen bu denklem, bundan sonraki benzer istasyonlar için de kullanılabileceği ve özellikle yolculuk sayıları elde edilerek yürüyen merdivenlerin güç tüketimine dair öngörülerin yapılmasına olanak sağlayabileceği düşünülmüştür.

Yürüyen merdivenlerin yükleme durumları incelenirken bazılarının günün önemli bir bölümünde yüksüz durumda çalıştıktıkları tespit edilmiştir. Örneğin İstasyon-12'deki YM12 nolu yürüyen merdiven çalışma süresinin %64'nde boşta çalışmaktadır. Dolayısıyla bu tip yürüyen merdivenler için, üreticiler tarafında opsiyon olarak sunulan boşta iken durma fonksiyonu tercih edilebilir ve büyük oranda enerji tasarrufu sağlanabilir.

Metro hatları gibi yoğun olarak kullanılan ulaşım sistemlerinde, tasarım aşamasında fizibilite raporları ile kısa ve uzun vadede yolcu sayıları tahmin edilmektedir. Metro istasyonlarının her birinin bulunduğu bölgeye göre değişik yolcu yoğunlukları öngörülmektedir. Yine tasarım aşamasında yürüyen merdivenlerinde hangi yükleme durumunda ne kadar süre çalışabileceği belirtilmektedir.

İstanbul'da yapım işleri devam eden bir metro hattındaki istasyonlar incelendiğinde; 2043 yılı pik saat yolculuk verilerine göre en yoğun istasyonda 51.283 kişi/saat, diğer bir istasyonda ise 4.935 kişi/saat yolcu yoğunluğu öngörülmektedir. Dolayısıyla yolcu sayıları tahmini olarak verilen metro istasyonlarında, yolcu yoğunluğu göz önüne alınarak yürüyen merdiven tasarımında farklı sınıflandırmaların yapılması değerlendirilebilir. Yolcu yoğunluğu fazla olan istasyonlarda A sınıfı yürüyen merdivenler tercih edilirken, yolcu yoğunluğu daha az istasyonlarda B veya C sınıfı tercih edilebilir (Çizelge 5.14).

Ulaşım sistemlerinde kullanılan ağır hizmet tipi yürüyen merdivenlerde tasarımdaki yolcu yükünden başka yapısal dayanım, korozyona karşı direnç, ömür, vandalizme karşı direnç gibi özelliklerde aranır. İhtiyaca göre değişen bu beklentiler yolcu yükü hesabından farklı değerlendirilmeli ve tedarikçiler tarafından karar verilmelidir.

Güncel olarak İstanbul Metrosunda yaklaşık 1300 adet kurulu yürüyen merdiven bulunmaktadır. Şuan ihale süreçleri tamamlanmış ve yapım işleri devam eden metro hatlarında ise yaklaşık 1350 adet yürüyen merdiven temin edilecektir. Bu veriler İBB tarafından yapılan metro hatlarını kapsamakta olup, tasarım aşamasındaki ve Ulaştırma Bakanlığı tarafından yapılan metro hatları dahil değildir. Dolayısıyla sadece metro hatları için bile çok yüksek miktarda yürüyen merdiven ihtiyacı söz konusudur.

İlk yatırım ve bakım maliyetleri çok yüksek olan ağır hizmet tipi yürüyen merdivenlerin kullanım koşulları göz önüne alınarak, tasarım aşamasında sınıflandırılması ile büyük oranda maliyet açısından tasarruf sağlanabilir.

KAYNAKLAR

[1] Al-Sharif, L., (1999). "Lift and Escalator Motor Sizing with Calculations and Examples", Lift Report, January/February 1999.

[2] Vasilyevich, B., (2017). Floor Escalator and Stand For It Testing, Graduation Project, Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Institute of Metallurgy, Mechanical Engineering and Transport, St. Petersburg.

[3] ISO 25745-3:2015, (2015). Energy Performance of Lifts, Escalators and Moving Walks – Part 3 Energy Calculation and Classification of Escalators and Moving Walks, International Organization for Standardization, First Edition 2015, Geneva.

[4] APTA RT-EE-RP-001-02, (2011). Heavy-Duty Transportation System Escalator Design Guidelines, American Public Transportation Association, Washington.

[5] Takács, Z., (2015). Stretching Device of the Escalator, Technical Universty of Ostrava, Institute of Transport, Ostrava.

[6] İmrak, E. ve Gerdemeli, İ., (2000). Asansörler ve Yürüyen Merdivenler, Birsen Yayınevi, İstanbul.

[7] Markos, P. ve Dentsoras, A., (2016). "Energy Consumption and Service Performance of Escalators", FME Transactions Vol.44, No 3, 249-255.

[8] Uimonen, S., (2015). Energy Consumption of Escalators, Master's Thesis, Aalto Unviersity, School of Electrical Engineering, Otaniemi.

[9] Escalator, www.britannica.com/technology/escalator , 4 Haziran 2018.

[10] Escalation Sensation Wooden Escalators at Wynyard and Town Hall Railway Stations, www.transport.nsw.gov.au/system/files/media/documents/2018/Escalation-Sensation.pdf , Transport NSW, Mart 2017.

[11] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, (2012). Yürüyen Merdiven ve Yol Makine Dairesi, Ankara.

[12] KONE, Ecomod Escalator Maintenance Instructions, www.transportcenter.org/images/uploads/publications/KonePacket.pdf, 25 Mayıs 2011.

[13] EN 115-1:2017, (2017). Safety of Escalators and Moving Walks – Part1: Construciton and Instalation, European Committee for Standardization, Brussels.

[14] ASME A17.1/CSA B44 Handbook, (2007). Safety Code for Elevators and Escalators, The American Society of Mechanical Engineers, New York.

[15] Spinakovsky, A. ve Dyachov, V. (1985). Conveyors and Related Equipment, Peace Publishers, Moscow.

[16] BS EN 115 , (1995). Safety Rules for the Construction and Installation of Escalators and Passenger Conveyors, British Standards, London.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Kenan YILDIZ

Doğum Tarihi ve Yeri : 01.10.1982 - Kağızman

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : kenanmak@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Y. Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2019
Lisans	Makine Mühendisliği	Kocaeli Üniversitesi	2003
Lise	Fen Bölümü	Gazi Mustafa Kemal Lisesi	1998

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2009-Halen	İstanbul Büyükşehir Belediyesi	Kontrol Mühendisi
2007-2009	Hema Endüstri A.Ş.	Üretim Mühendisi
2005-2007	Aysberg Soğutma San. Ve Tic. A.Ş.	Üretim Mühendisi