

**T.C.  
KİLİS 7 ARALIK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İÇ AYDINLATMADA LED SÜRÜCÜLERİNİN GÜÇ OPTİMİZASYONU**

**HABİP YUSUF HASIRCI**

**DANIŞMAN: Prof. Dr. Ö. Faruk FARSAKOĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**KİLİS  
2015**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İÇ AYDINLATMADA LED SÜRÜCÜLERİNİN GÜÇ OPTİMİZASYONU

HABİP YUSUF HASIRCI

Kilis 7 Aralık Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ö. Faruk FARSAKOĞLU

Yıl: 2015 Sayfa:82

İnsanlığın enerjiye olan ihtiyacı gün geçtikçe artarken, enerji kaynaklarının önümüzdeki yıllarda talebi karşılamada yetersiz kalacağı öngörülmektedir. Ayrıca ülkemizde enerji ihtiyacının büyük bir çoğunluğu dış kaynaklardan karşılanmaktadır. Tamamına yakını ithal edilen doğal gazın yaklaşık yarısı elektrik enerjisine çevrilerek kullanılmaktadır. Bu sorunlar göz önüne alındığında enerji talebini karşılayacak kaynaklar oluşturmak kadar kullanılan enerjinin verimli hale getirilmesi ve tasarruf yapılması da önem arz etmektedir. Aydınlatmada kullanılan enerji, toplam tüketilen enerji göz önüne alındığında önemli bir yere sahiptir. Bu sebepten dolayı aydınlatmada da enerji tasarrufu yapılması ve daha verimli aydınlatma elemanlarının kullanılması büyük önem taşımaktadır. Yüksek verimliliğe sahip güç LED'leri konvansiyonel ışık kaynaklarına alternatif olarak üretilmiştir. Güç LED'lerinin çalışması için genellikle sabit akıma ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, düşük güçlerde akım sınırlamalı LED sürücüleri üzerinde çalışılmıştır. LED'in çalışabilmesi için gereken akımı sağlayan 3 farklı akım sürme yöntemi incelenmiştir. Bunlar; dirençle yapılan basit sürücü devreleri, LM117 regülatörü ile yapılan LED sürücüsü devreleri ve DC-DC düşürücü dönüştürücü temelli akım sınırlamalı LED sürücü devreleridir. Bu LED sürücü devrelerin simülasyonları hazırlanmış ve devrelerin simülasyonla analizleri yapılmıştır. Daha sonra, DC-DC düşürücü dönüştürücü temelli akım sınırlamalı LED sürücü devre uygulaması laboratuvar koşullarında gerçekleştirilmiştir. Devrenin verimlilik, giriş akımı, toplam devre kaybı, çıkış akımı ve güç değerleri üzerinde ölçümler yapılmıştır. Bu çerçevede sürücü devrelerin çıkış akımı ve verimlilikleri, enerji optimizasyonu yönünden incelenmiştir. Bu elektronik yapıdaki devrelerin verimlilikleri; simülasyon çalışmaları ve laboratuvar uygulamalarında elde edilen verilere göre oluşturulmuştur. Buna göre verimlilik değerlerinin simülasyon değerleri ile uyum sağladığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Güç optimizasyonu, enerji verimliliği, güç LED, akım sınırlamalı LED sürücü

## ABSTRACT

MSc. Thesis

### POWER OPTIMIZATION OF LED DRIVERS IN INDOOR LIGHTING

HABİP YUSUF HASIRCI

Kilis 7 Aralık University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ö. Faruk FARSAKOĞLU

Year: 2015      Pages:82

As humans' need for energy increases day by day, it is predicted that energy resources will not meet the demand in the forthcoming years. Additionally, most of the energy need of Turkey is met from external resources. Half of the natural gas almost all of which is imported is transformed into electrical energy. Taken these problems into account, efficient use and saving of used energy become as important as creating resources to meet the energy demand. Energy used for lighting has an important share in the total energy consumption. Therefore, energy used for lighting should be saved and more efficient components should be used in lighting. High efficiency power LEDs are currently manufactured as an alternative to conventional lighting resources. Generally, the constant current is needed for the operation of power LEDs. This study is on low power current limiting LED drivers. Three different current driving methods providing the current required for running LEDs were investigated. These are simple driver circuit with resistor, LED driver circuit with LM117 regulator, and DC-DC buck convertor based on current limiting LED driver circuit. Simulations of the current limiting LED driving circuits were prepared. The data from the simulation applications were obtained. Then, the applications of the DC-DC buck convertor based on current limiting LED driver circuit were conducted under laboratory conditions. The efficiency, the input current, the total circuit loss, the output power, and current of the circuit were measured. Output currents and efficiencies of these drive circuits were examined in terms of the energy optimization. Efficiencies of the circuits which have this electronic structure were determined according to the data obtained in the laboratory applications and the simulation studies. According to this, efficiency values and simulation values were determined to adapt.

**Key Words:** Power optimisation, energy efficiency, power LED, current limiting LED driver.

## TEŞEKKÜR

Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma Sayın Prof. Dr. Ö. Faruk FARSAKOĞLU rehberliğinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmam boyunca hep yanımda hissettiğim, yardımlarını ve desteğini hiçbir şekilde esirgemeyen hocam Prof. Dr. Ö. Faruk FARSAKOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim öğretim hayatım boyunca hiçbir zaman maddi manevi desteklerini esirgemeyen annem Nesibe HASIRCI'ya, babam Habip HASIRCI'ya ve eşim Suzan Büşra HASIRCI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Habip Yusuf HASIRCI  
Kilis, Kasım 2015

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ .....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1 GİRİŞ .....	1
1.1 Işık ve Aydınlatma .....	3
1.1.1 Işığın tanımı .....	3
1.1.2 Aydınlatma ve aydınlatma parametreleri .....	4
1.1.2.1 Işık akısı .....	4
1.1.2.2 Katı açı ( $\Omega$ - sr ).....	5
1.1.2.3 Işık şiddeti .....	6
1.1.2.4 Aydınlık düzeyi .....	7
1.1.2.5 Etkinlik faktörü.....	8
1.1.2.6 Parıltı .....	9
1.2 LED'in ( Light Emitting Diode- Işık Yayan Diyot ) Yapısı ve Tarihsel Gelişimi.....	10
1.2.1 Beyaz LED'ler .....	15
1.2.2 LED'lerin karakteristikleri .....	16
1.2.2.1 Akım - gerilim karakteristiği .....	16
1.2.2.2 LED'lerde verimlilik – zaman ilişkisi.....	17
1.2.2.3 Akım - aydınlık şiddeti karakteristiği.....	18
1.2.2.4 LED'lerde sıcaklık - ömür ilişkisi ve sıcaklık - aydınlık şiddeti ilişkisi .....	18
1.2.2.5 LED dalga boyları .....	19

1.3	Diğer Işık Kaynakları.....	21
1.3.1	Akkor flamanlı lamba .....	21
1.3.2	Floresan lamba .....	22
1.3.3	Düşük basınçlı sodyum lambalar .....	24
1.3.4	Yüksek basınçlı sodyum lambalar .....	25
1.3.5	Yüksek basınçlı cıva buharlı lambalar .....	26
1.3.6	Aydınlatma teknolojilerinin özelliklerinin karşılaştırılması .....	27
2	MATERYAL VE METOD.....	30
2.1	DC-DC Dönüştürücüler .....	30
2.1.1	DC-DC dönüştürücülerin topolojileri .....	31
2.1.1.1	Düşürücü (buck) dönüştürücü .....	31
2.1.1.2	Yükseltici (boost) dönüştürücü .....	32
2.1.1.3	Düşürücü yükseltici (buck-boost) dönüştürücüler.....	34
2.1.1.4	Cuk dönüştürücüler .....	35
2.2	Akım Sınırlamalı LED Sürücüleri .....	37
2.2.1	Dirençle yapılan basit sürücü devresi .....	37
2.2.2	LM117 regülatörü ile yapılan LED sürücüsü devresi.....	38
2.2.3	DC-DC düşürücü (buck) dönüştürücü temelli akım sınırlamalı LED sürücüleri.....	40
3	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	56
3.1	Uygulama Çalışması .....	56
3.2	Uygulama çalışmasının sonuçları .....	56
4	SONUÇ ve ÖNERİLER .....	61
5.	KAYNAKLAR .....	63
	ÖZGEÇMİŞ.....	67

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

V	Gerilim
W	Watt
P <sub>out</sub>	Çıkış gücü
f	Frekans
nm	nanometre
Hz	Hertz
$\phi$	Işık akısı
lm	Lümen
R	Direnç
$\Omega$	Katı açı (sr)
$\pi$	Pi sayısı
I	Işık şiddeti
cd	Kandela
E	Aydınlık düzeyi
lx	Lüks
$\eta$	Etkinlik faktörü
I <sub>s</sub>	Diyotun ters doyma akımı
k	Boltzman sabiti
J <sub>T</sub>	Jonksiyon sıcaklığı (° C)
P <sub>in</sub>	Giriş gücü
P <sub>losses</sub>	Boşa harcanan güç
V <sub>in</sub>	Giriş gerilimi
I <sub>in</sub>	Giriş akımı
I <sub>out</sub>	Çıkış akımı
V <sub>out</sub>	Çıkış gerilimi
L	Bobin
C	Kapasitör
I <sub>C</sub>	Kapasitör akımı
V <sub>C</sub>	Kapasitör gerilimi
V <sub>L</sub>	Bobin gerilimi
I <sub>L</sub>	Bobin akımı
t <sub>ON</sub>	Anahtar açık kalma süresi
t <sub>OFF</sub>	Anahtar kapalı kalma süresi

## **KISALTMALAR**

LED	Light Emitting Diode - Işık Yayan Diyotlar
DC	Direct Current - Doğru Akım
GaP	Galyum Fosfat
GaAs	Galyum Arsenit
GaAsP	Galyum Arsenit Fosfat
GaAlAsP	Galyum Alüminyum Arsenit Fosfat
SSL	Solid State Lighting- Katı Hal Aydınlatması
HPS	Yüksek Basınçlı Sodyum Lamba
MOSFET	Metal Oksit Yarıiletken Alan Etkili Transistör
PCB	Printed Circuit Board – Baskı Devre Kartı



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Elektromanyetik spektrum diyagramı .....	4
Şekil 1.2 Işık akısı .....	5
Şekil 1.3 Katı açı tanımı.....	5
Şekil 1.4 Katı açı gösterimi.....	6
Şekil 1.5 A yüzeyinin $\Theta$ açısı ile katı açı gösterimi .....	6
Şekil 1.6 Noktasal bir ışık kaynağında ışık şiddetinin gösterimi .....	7
Şekil 1.7 Aydınlık düzeyi ve ışık akısı .....	8
Şekil 1.8 Direkt parıltının meydana gelmesi.....	9
Şekil 1.9 Yansımali parıltının meydana gelmesi.....	10
Şekil 1.10 Bias uygulanmadan ve bias uygulandığı durumlarda p-n jonksiyonu .....	11
Şekil 1.11 Aydınlatma sistemlerinin gelişiminde bazı dönüm noktaları .....	12
Şekil 1.12 LED'in tarihsel gelişim safhası .....	13
Şekil 1.13 Bazı katı hal yapıdaki LED'lerin verimlilikleri .....	14
Şekil 1.14Beyaz ışık üretim yöntemleri (a) renk karıştırma (kırmızı, mavi ve yeşil) b) ultra-viyole dalga boyu dönüştürme, (c) ikili tamamlayıcı dalga boyu dönüşümü ...	15
Şekil 1.15 LED'in I-V karakteristiği .....	17
Şekil 1.16 Çeşitli çevre sıcaklıklarında çalışan beyaz güç LED'leri için zamanın bir....	17
Şekil 1.17 Akım - aydınlık şiddeti karakteristiği .....	18
Şekil 1.18 Sıcaklık - aydınlık şiddeti ilişkisi .....	19
Şekil 1.19 LED'in sıcaklık – ömür ilişkisi .....	19
Şekil 1.20. Akkor lamba.....	22
Şekil 1.21 Floresan lamba bileşenleri ve fosforesans .....	23
Şekil 1.22 Bir floresan lamba içinde enerji dönüşümü .....	23
Şekil 1.23 Yüksek basınçlı cıva buharlı lamba bölümleri .....	27
Şekil 1.24 Işık kaynaklarının gelişimi ve öngörülen verimliliği .....	28
Şekil 2.1 Düşürücü dönüştürücülerin devre şeması .....	31
Şekil 2.2 Düşürücü dönüştürücüde kararlı haldeki bobin geriliminin ve akımının dalga formları .....	32
Şekil 2.3 Temel bir yükseltici dönüştürücü devresi .....	33
Şekil 2.4 Sürekli süreksiz mod; a) Anahtar kapalı b) Anahtar açık.....	33

Şekil 2.5 Düşürücü - yükseltici (Buck-Boost) konverter .....	34
Şekil 2.6 Kararlı durumdaki bobin akımının ve geriliminin dalga formu .....	35
Şekil 2.7 Cuk dönüştürücü devre şeması .....	36
Şekil 2.8 Cuk dönüştürücü dalga şekilleri; a) Anahtar açık b) Anahtar kapalı .....	36
Şekil 2.9 Basit sürücü devresi .....	37
Şekil 2.10 LM117 ile yapılan sürücü devresi.....	39
Şekil 2.11 LM3404'ün tipik bir uygulaması .....	40
Şekil 2.12 LM3404 kullanılarak yapılan 1 W'lık LED sürücü devresi .....	43
Şekil 2.13 LM3404 entegresi ile yapılan 1 Watt'lık LED sürücü devresinin verimliliğinin ve LED'in ileri yön geriliminin giriş gerilimine göre değişimi .....	43
Şekil 2.14 LM3404 entegresi ile yapılan 1 Watt'lık LED sürücü devresinin çıkış gücünün, LED'in harcadığı gücün ve toplam kaybın giriş gerilimine göre değişimi .....	44
Şekil 2.15 LM3404 entegresi ile yapılan 1 Watt'lık LED sürücü devresinde LED'in giriş akımının ve LED akımının giriş gerilimine göre değişimi .....	44
Şekil 2.16 LM3404 kullanılarak yapılan 3 W'lık LED sürücü devresi .....	45
Şekil 2.17 LM3404 entegresi ile yapılan 3 Watt'lık LED sürücü devresinin verimliliğinin ve LED'in ileri yön geriliminin giriş gerilimine göre değişimi .....	45
Şekil 2.18 LM3404 entegresi ile yapılan 3 Watt'lık LED sürücü devresinin çıkış gücünün, LED'in harcadığı gücün ve toplam kaybın giriş gerilimine göre değişimi .....	46
Şekil 2.19 LM3404 entegresi ile yapılan 3 Watt'lık LED sürücü devresinde LED'in giriş akımının ve LED akımının giriş gerilimine göre değişimi .....	46
Şekil 2.20 LM3404 kullanılarak yapılan 5 W'lık LED sürücü devresi .....	47
Şekil 2.21 LM3404 entegresi ile yapılan 5 Watt'lık LED sürücü devresinin verimliliğinin ve LED'in ileri yön geriliminin giriş gerilimine göre değişimi .....	47
Şekil 2.22 LM3404 entegresi ile yapılan 5 Watt'lık LED sürücü devresinin çıkış gücünün, LED'in harcadığı gücün ve toplam kaybın giriş gerilimine göre değişimi .....	48
Şekil 2.23 LM3404 entegresi ile yapılan 5 Watt'lık LED sürücü devresinde LED'in giriş akımının ve LED akımının giriş gerilimine göre değişimi .....	48
Şekil 2.24 LM3406 uygulama devresi .....	49
Şekil 2.25 LM3406 kullanılarak yapılan 1 W'lık LED sürücü devresi .....	49
Şekil 2.26 LM3406 entegresi ile yapılan 1 Watt'lık LED sürücü devresinin verimliliğinin ve LED'in ileri yön geriliminin giriş gerilimine göre değişimi .....	50

Şekil 2.27 LM3406 entegresi ile yapılan 1 Watt'lık LED sürücü devresinin çıkış gücünün, LED'in harcadığı gücün ve toplam kaybın giriş gerilimine göre değişimi.....	50
Şekil 2.28 LM3406 entegresi ile yapılan 1 Watt'lık LED sürücü devresin de LED'in giriş akımının ve LED akımının giriş gerilimine göre değişimi .....	51
Şekil 2.29 LM3406 kullanılarak yapılan 3 W'lık LED sürücü devresi .....	51
Şekil 2.30 LM3406 entegresi ile yapılan 3 Watt'lık LED sürücü devresinin verimliliğinin ve LED'in ileri yön geriliminin giriş gerilimine göre değişimi .....	52
Şekil 2.31 LM3406 entegresi ile yapılan 3 Watt'lık LED sürücü devresinin çıkış gücünün, LED'in harcadığı gücün ve toplam kaybın giriş gerilimine göre değişimi.....	52
Şekil 2.32 LM3406 entegresi ile yapılan 3 Watt'lık LED sürücü devresinde LED'in giriş akımının ve LED akımının giriş gerilimine göre değişimi .....	53
Şekil 2.33 LM3406 kullanılarak yapılan 5 W'lık LED sürücü devresi .....	53
Şekil 2.34 LM3406 entegresi ile yapılan 5 Watt'lık LED sürücü devresinin verimliliğince ve LED'in ileri yön geriliminin giriş gerilimine göre değişimi .....	54
Şekil 2.35 LM3406 entegresi ile yapılan 5 Watt'lık LED sürücü devresinin çıkış gücünün, LED'in harcadığı gücün ve toplam kaybın giriş gerilimine göre değişimi.....	54
Şekil 2.36 LM3406 entegresi ile yapılan 5 Watt'lık LED sürücü devresinde LED'in giriş akımının ve LED akımının giriş gerilimine göre değişimi .....	55
Şekil 3.1 5 Watt'lık akım sınırlamalı LED sürücü devresi .....	56
Şekil 3.2 5 Watt'lık akım sınırlamalı LED sürücü devresinin baskı devresi .....	56
Şekil 3.3 Giriş gerilimine göre LED akımının değişimi .....	59
Şekil 3.4 Giriş gerilimine göre sürücünün giriş akımının değişimi .....	59
Şekil 3.5 LED sürücü devresinin çıkış gücünün ve geriliminin giriş gerilimine göre değişimi .....	60
Şekil 3.6 Giriş gerilimine bağlı olarak verimliliğin değişimi .....	60

## RESİMLER DİZİNİ

Resim 1.1. 1960’larda N. Holonyak Jr tarafından üretilen ilk görünür kırmızı LED.....	11
Resim 1.2. Güç LED basitleştirilmiş bir gösterimini yansıtır.....	14
Resim 1.3. Düşük basınçlı sodyum lamba yapısı.....	25
Resim 1.4.Yüksek basınçlı sodyum lambanın yapısı.....	26

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Beyaz ışık üretme yöntemlerinin avantajları .....	16
Çizelge 1.2. Beyaz ışık üretme yöntemlerinin dezavantajları .....	16
Çizelge 1.3.LED'lerin renklerinin dalga boyları ve kullanılan malzeme türleri.....	20
Çizelge 1.4. Akkor lambanın gücüyle etkinliğinin karşılaştırılması.....	22
Çizelge 1.5. Işık kaynaklarının karşılaştırılması.....	29
Çizelge 2.1. Bir dirençle yapılan basit sürücü devresinin sonuçları.....	38
Çizelge2.2.LM117 regülatör devresi ile yapılan LED sürücüsü devresinin sonuçları.....	39
Çizelge 3.1. Uygulama çalışması sonuçları.....	58

## 1 GİRİŞ

Enerji verimliliği; aynı ürün veya hizmetin, kalitesini ve niteliğini düşürmeden ülkedeki ekonomik kalkınmayı ve sosyal refahı artıracak şekilde daha az enerjiyle elde etmek veya birim hizmet başına enerji tüketimini en asgari seviyeye indirmektir. Dünya nüfusunun artması ve teknolojinin gelişmesi sonucunda enerjiye olan talep artmakta, mevcut üretimin bu talebi karşılayamadığı durumlarda yeni yatırımlar yapılarak bu ihtiyacın karşılanmasına çalışılmaktadır. Oysa enerji açığının öncelikle kullanılan sistemlerin daha verimli hale getirilmesiyle kapatılmaya çalışılması gerekmektedir. Enerji; ısınma, aydınlanma, ulaşım, sanayi ve tarım gibi hayatımızın hemen hemen her alanını etkilemektedir. Bu yüzden enerji verimliliği ön plana çıkmaktadır [1].

Ülkemizde tüketilen enerjinin yaklaşık beşte birlik bir bölümü aydınlatmada kullanıldığı göz önüne alınırsa aydınlatma sistemlerinde yapılacak tasarrufun ve verimliliğin artırılması kaçınılmaz olmaktadır [2]. Enerji tasarrufu, enerji verimliliğinde en önemli faktördür. Enerji tasarrufu genellikle enerjinin az kullanılması ve iki ampulden birinin söndürülmesi şeklinde algılanmaktadır [3]. Fakat enerji tasarrufu; enerji atıklarının değerlendirilmesi ve mevcut enerji kayıplarının önlenmesi yoluyla tüketilen enerji kalitesini ve performansını düşürmeden en aza indirilmesi olarak algılanmalıdır [4]. Bu şekilde yapılmaması sonucunda endüstride iş kazalarını ve üretim kayıplarının artması kaçınılmazdır. İyi bir enerji tasarrufu yapılması ve enerjinin daha verimli kullanılması gerekiyorsa, kullanılan ışık kaynağı, yardımcı elemanlar vb. aydınlatma elemanlarının doğru ve verimli çalışan sistemlerden seçilmesi gerekir.

Gelişen teknolojiyle birlikte LED'ler aydınlatma sistemlerinde ön plana çıkmaktadır. LED'lerin diğer aydınlatma elemanlarına göre daha çok tercih edilmelerinin sebepleri, LED aydınlatma sistemlerinin daha yüksek enerji verimliliği sağlaması, LED'lerin daha uzun ömürlü olması (50.000 – 100.000 saat ), daha az bakım gerektirmesi, ekipmanların boyutunun küçük olması ve bu nedenle az yer kaplamaları, ışık ve renk çeşitliliği sağlamaları, darbelere ve titreşimlere daha dayanıklı olmaları ve daha düşük güç tüketimleri gibi buna benzer birçok avantajlara sahiptir [5]. LED'lerin bu

avantajlarından dolayı, akkor lambalar, floresan lambalar, halojen lambalar gibi konvansiyonel ışık kaynaklarına iyi birer alternatif olmaları için daha yüksek ışık veren çeşitleri üretilmiştir. Bu LED'ler güç LED'i (power LED) olarak adlandırılıp, standart 5 mm LED'lere göre yüksek akım çekmektedirler. Bu sebepten dolayı genellikle sabit akım çeken özel sürücülere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışma 4 ana bölüm ve Ek'lerden oluşmaktadır. Birinci bölüm giriş bölümüdür. Bu bölümde; ışık, ışığın tanımı, ışığın özellikleri, elektromanyetik, aydınlatma ve aydınlatma parametreleri, LED'in ( Light Emitting Diode- Işık Yayan Diyotlar ) yapısı ve tarihsel gelişimi anlatılmaktadır. Ayrıca bu bölümde LED'lerin karakteristikleri, beyaz ışığın üretilme yöntemleri ve diğer ışık kaynaklarından olan akkor flamanlı lambanın, floresan lambanın, düşük basınçlı sodyum lambanın, yüksek basınçlı sodyum lambanın ve yüksek basınçlı cıva buharlı lambanın çalışma prensipleri, avantajları, dezavantajları açıklanmıştır. Gelişen günümüz teknolojisinin en verimli aydınlanma sistemlerinden biri olan LED aydınlatma sistemlerinin diğer aydınlatma teknolojileriyle karşılaştırılması yapılmıştır.

İkinci bölüm materyal ve yöntemdir. Burada; DC- DC dönüştürücünün tanımı yapılmış ve düşürücü (buck), yükseltici (boost), düşürücü-yükseltici (buck-boost) ve cuk olarak adlandırılan dört ana tipteki dönüştürücüler açıklanmıştır. Ayrıca bu bölümde akım sınırlamalı LED sürücüleri incelenmiştir. LED'in çalışabilmesi için gereken akımı sağlayan bir dirençle yapılan basit sürücü devresi, LM117 regülatörü ile yapılan LED sürücüsü devresi ve DC-DC düşürücü dönüştürücü temelli akım sınırlamalı LED sürücü devreleri incelenmiş ve simülasyonları yapılmıştır.

Üçüncü bölüm bulgular ve tartışma bölümüdür. Simülasyonu yapılan devrelerden LM3404 entegresi kullanılarak 5 W'lık LED sürücü devresinin baskı devresi hazırlanarak uygulaması yapılmış ve uygulama sonuçları incelenmiştir. Uygulanan LED sürücü devresinin LED akımı, sürücünün giriş akımı, çıkış gücü, çıkış gerilimi ve devrenin verimliliği ölçülmüş ve hesaplanmıştır.

Dördüncü bölüm sonuç ve önerilerden oluşmaktadır. Uygulaması yapılan devrenin ölçüm sonuçları ile simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Bahse konu verimlilik değerleri enerji optimizasyonu yönünden elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile simülasyonu yapılan devrenin sonuçları karşılaştırılmıştır.

## 1.1 Işık ve Aydınlatma

### 1.1.1 Işığın tanımı

Işık, insan gözünün algıladığı ve görülebilen elektromanyetik ışınımın adıdır [6]. 380 nm - 780 nm dalga boyları arası gözle görülebilir ancak bilimsel terminolojide gözle görünmeyen dalga boylarına da ışık denilmektedir. Işığın özellikleri, radyo dalgalarından gamma ışınlarına kadar gidebilen, elektromanyetik dalganın dalga boyuna göre değişir.

Klasik dalga modeli ile elektromanyetik ışının özellikleri tanımlanabilir. Bu modelde dalga boyu, frekans, periyot ve genlik gibi parametreler kullanılır. Dalga parametreleri; **Periyot, T:** Ortamdaki sabit bir noktadan geçen bir ışının birbirini takip eden iki tepe noktası arasındaki mesafeyi (devir) geçmesi için gerekli zamandır; birimi saniye/devirdir.

**Genlik, A (Amplitude):** Dalga hareketinin denge halinden olan maksimum yer değiştirmesidir.

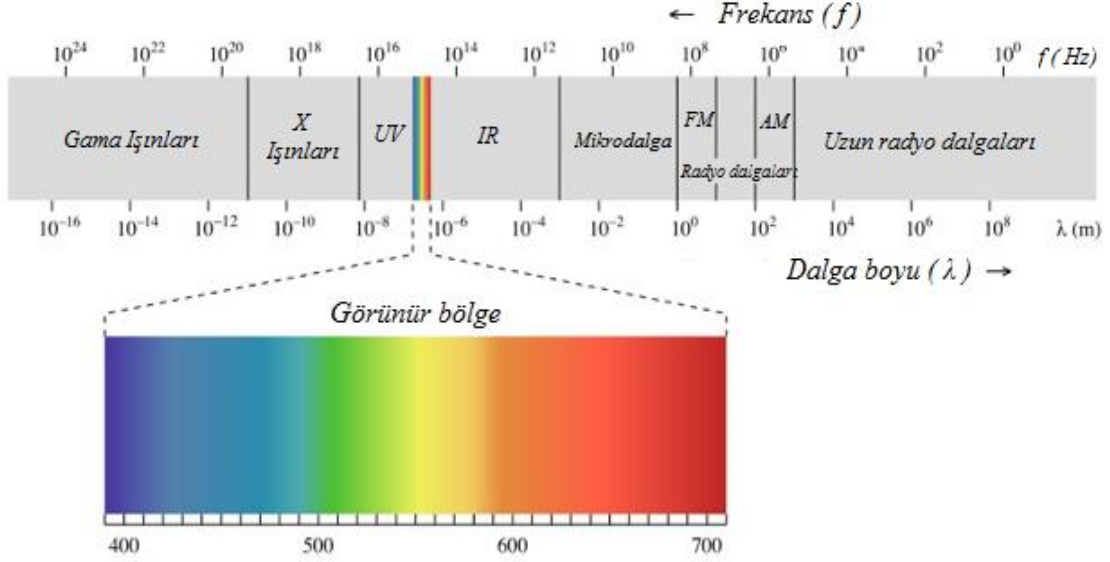
**Frekans, f:** Saniyedeki titreşim sayısıdır ve  $1/T$  ye eşittir. Frekans ışık kaynağı tarafından belirlenir ve ışının geçtiği ortamdan etkilenmez. Frekansın genel birimi Hz (hertz)'dir ve 1 devir/saniye ye eşittir.

**Dalga boyu,  $\lambda$ :** Bir dalganın, birbirini takip eden iki maksimum veya iki minimum dalgalanma noktası arasındaki doğrusal mesafedir.

Işığın diğer bir tanımı ise, gözlerimiz tarafından algılanan elektromanyetik spektrumun bir parçasıdır. "Elektromanyetik spektrum" sadece tüm dalga boylarında elektromanyetik ışınımı tanımlamak için kullanılan bir deyimdir. Elektromanyetik spektrum radyo dalgaları, mikrodalga, kızılötesi, görünür ışık, ultraviyole ışınları, x ışınları, gama ışınları ve daha uzun ve daha kısa diğer elektromanyetik ışınımında dalga boylarını içerir. Tipik bir insan gözü yaklaşık 390-700 nm dalga boyu arasına tepki



verir. Bu dalga boyları arası görünür bölge olarak adlandırılır [7]. Elektromanyetik spektrumunun şematik bir diyagramı Şekil 1.1’de gösterilmektedir [8].



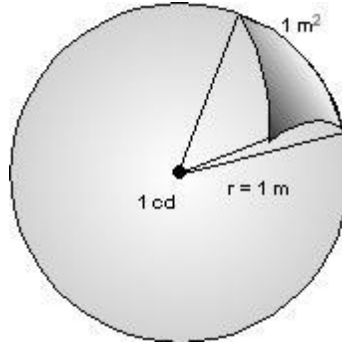
Şekil 1.1 Elektromanyetik spektrum diyagramı [9]

## 1.1.2 Aydınlatma ve aydınlatma parametreleri

Aydınlatma; gün ışığının olmadığı veya yetersiz kaldığı, tüm sınırlı ve sınırsız ortamlarda öncelikli olarak iyi görme koşullarının sağlanması için oluşturulan vazgeçilmez bir kavramdır [10]. Bu vazgeçilmezlik aydınlatma tekniğini ortaya çıkartmıştır. Aydınlatma tekniği; ışığa ve aydınlanma bilgisine ait hesap, ölçme ve değerlendirmeleri yapabilmek için bazı temel büyüklükleri tarif ve kabul etmiştir. Fotometrik büyüklükler, normal gözün ışığı algılama özelliği ve ışık kaynaklarının ürettikleri enerji miktarları ile açıklanabildiği için diğer enerji birimlerinden farklı kavramlardır [11].

### 1.1.2.1 Işık akısı

Işık akısı, bir yüzeye birim zamanda dik olarak düşen ışık miktarıdır. Diğer bir tanımı ise bir ışık kaynağından çıkan ve normal gözün spektral duyarlılık eğrisine göre değerlendirilen enerji akısına denir [12]. Şekil 1.2’de ışık akısı gösterilmektedir. Işık akısı  $\phi$  harfi ile gösterilir. Birimi lümen (lm) 1 cd’lik kaynağın, 1m yarıçaplı kürenin 1 m<sup>2</sup> lik yüzeyine dik olarak verdiği akı olarak adlandırılır [13].

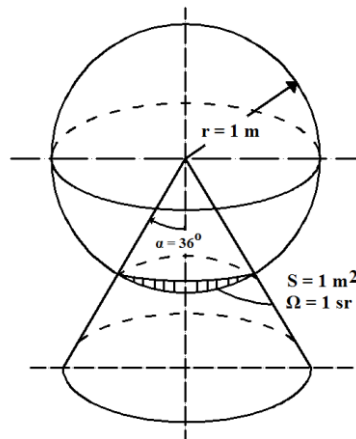


Şekil 1.2 Işık akısı

Işık akısı genel olarak düzgün yayılmaz; uzayın farklı doğrultularında yoğunluğu farklıdır [9]. Bu durumu daha iyi anlayabilmek için katı açı kavramına ihtiyaç vardır.

### 1.1.2.2 Katı açı ( $\Omega$ - sr )

Katı açı, noktasal ışık kaynağı merkez olmak üzere yarıçapı  $R = 1$  m olan bir küre göz önüne alarak koninin küre yüzeyinde ayırdığı yüzey parçasının alanını hesap etmek suretiyle ölçülür. Eğer bu yüzeyin alanı  $1 \text{ m}^2$  ise, bu takdirde bu uzay parçasının katı açısına 1 steradyan (sr) denir ve  $\Omega$  ile gösterilir [10]. Şekil 1.3'te katı açının gösterimi verilmiştir. Radyan cinsinden düzlemsel açının birim dairede yay olarak ölçülmesine karşılık katı açı, birim kürede yüzey olarak ölçülür [10].



Şekil 1.3 Katı açı tanımı

Katı açı ifadesi,

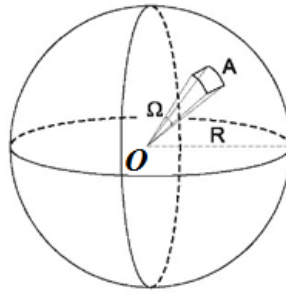
$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad (1.1.1)$$

bağıntısı ile tanımlanır. Katı açı gösterimi Şekil 1.4'te verilmiştir. Katı açı, R yarıçaplı küre içerisinde tepe noktası O, taban alanı A olan koni içinde kalan açıdır.

r yarıçaplı kürenin yüzey alanı  $4\pi r^2$  olduğundan (1.1.1) bağıntısını kullanarak kürenin katı açısını,

$$\Omega = A/r^2 = 4\pi r^2/r^2 = 4\pi \quad (1.1.2)$$

bağıntısıyla elde ederiz.

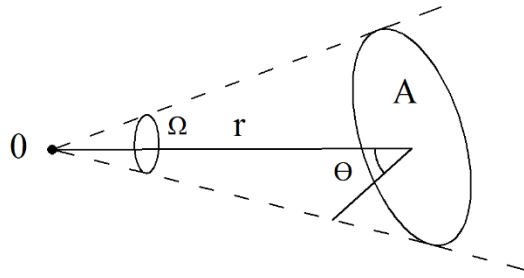


Şekil 1.4 Katı açı gösterimi

Eğer A yüzeyi r doğrultusu ile  $\Theta$  açısı yapıyorsa katı açı,

$$\Omega = (A/r^2) \cdot \cos \Theta \quad (1.1.3)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Bu durum Şekil 1.5'te gösterilmiştir.



Şekil 1.5 A yüzeyinin  $\Theta$  açısı ile katı açı gösterimi

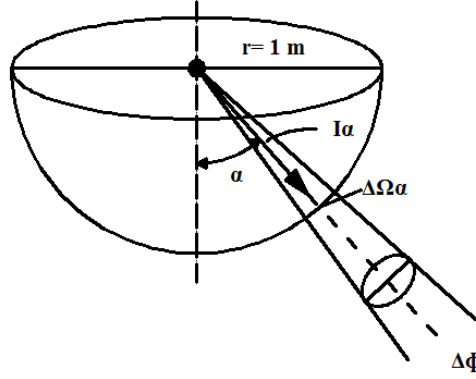
### 1.1.2.3 Işık şiddeti

Noktasal bir kaynağın belirli bir doğrultuda birim katı açı içinde verdiği ışık akısı miktarıdır. Bir bakıma kaynağın belirli bir yönde yaydığı ışık enerjisidir. "I" harfi ile gösterilir, birimi "Kandela" (cd) dır. Bu kavram her zaman sabit bir ışık gücü veya şiddeti olarak anlaşılmalıdır. Aynı ışık şiddetini tanımlayan akı, göz için farklı mesafe ve yüzeylerde farklı etkiler yapar [11].

$$I \text{ (cd)} = \phi / \Omega \quad (1.1.4)$$

$\phi$  : Işık Akısı (lm)

$\Omega$  : Katı açı (sr)



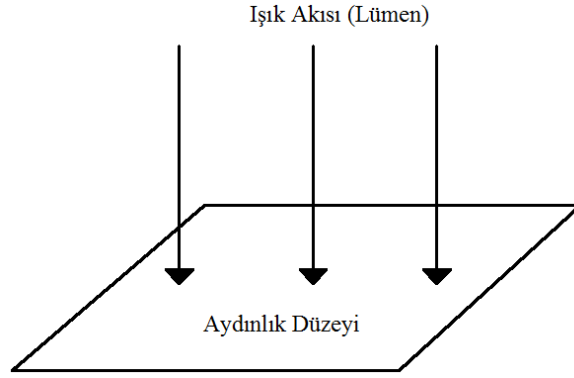
Şekil 1.6 Noktasal bir ışık kaynağında ışık şiddetinin gösterimi

Şekil 1.6’da noktasal bir ışık kaynağından yayılan ışığın şiddeti gösterilmiştir. Noktasal bir ışık kaynağının herhangi bir  $\alpha$  doğrultusundaki ışık şiddeti, bu doğrultuyu içine alan bir  $\Delta\Omega$  katı açısından çıkan  $\Delta\Phi$  ışık akısının  $\Delta\Omega$  katı açısına bölümüdür. Eğer ortamda ışık soğurumu yoksa  $\Delta\Phi / \Delta\Omega$ ’ya ortalama ışık şiddeti denir.  $\Delta\Omega$  sıfıra yaklaşırken bu oranın limiti de anlık  $I$  ışık şiddetini tanımlar [14];

$$I = \lim_{\Delta\Omega \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega} = d\Phi / d\Omega \quad (1.1.5)$$

#### 1.1.2.4 Aydınlık düzeyi

Ortalama aydınlık düzeyi bir  $\Delta S$  yüzeyine düşen  $\Delta\phi$  ışık akısının  $\Delta S$  yüzeyine bölümüne eşittir.  $\Delta S$  yüzeyi sıfıra yaklaşırsa  $\Delta\phi / \Delta S$  oranının limiti bu noktadaki aydınlık düzeyini verir [11]. Şekil 1.7’de aydınlık düzeyi ve ışık akısı gösterilmektedir.



Şekil 1.7 Aydınlık düzeyi ve ışık akısı

Aydınlık düzeyi  $E$ , yüzeye gelen  $\phi$  ışık akısının  $A$  alanına oranı ile hesaplanır;

$$E = \frac{\phi}{A} \quad (1.1.6)$$

Işık akısının birimi lm ve akının geldiği yüzey alanı  $m^2$  alınırsa aydınlık düzeyinin birimi lx'tür.

#### 1.1.2.5 Etkinlik faktörü

Aydınlanma veya ışık verimi olarak belirtilen etkinlik faktörü, bir ışık kaynağından çıkan akının 1 Watt birim güç başına düşen kısmıdır. Aydınlanma verimi  $\eta$ 'nın birimi lm/W'tır.

Etkinlik faktörü, bir ışık kaynağının yaydığı görünür ışığın ne derece iyi olduğunu gösteren fiziksel bir niceliktir. Işık akısının güce oranı olarak ifade edilir [15]. Örnek olarak, 100W gücünde bir akkor lambanın ışık akısı 1360 Lümen ise bu ışık kaynağı  $1360/100 = 13,6$  lm/W ışıksal verime sahiptir.

Bazı ışık kaynaklarının ortalama etkinlik faktörleri (ışık verimleri veya aydınlatma verimleri) aşağıdaki gibidir;

Akkor flamanlı: 10-20 lm/W

Floresan: 50-100 lm/W

Metal Halide: 75-125 lm/W

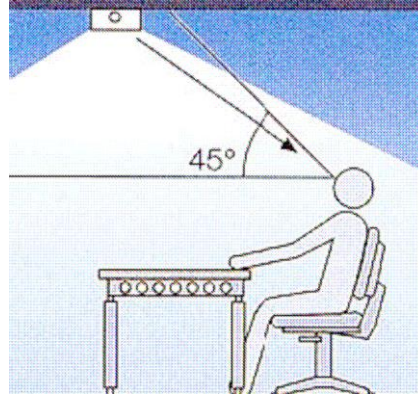
SMD LED: 15-45 lm/W

Güç LED: 20-180 lm/W

### 1.1.2.6 Parıltı

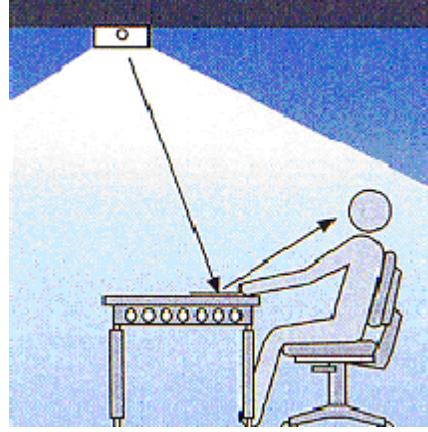
Parıltı yüzeyin birim alanından belli bir doğrultuda yayılan ışık şiddetiyle ilgili bir kavram olup ışığın insan gözünde görme duygusunu oluşturan boyutudur. İyi bir ışık kaynağı gözü kamaştırmayan ışık kaynağıdır. Işık yayan yüzey, kendisi ışık üreten bir lamba veya ışık geçiren bir armatür yüzeyi gibi birincil ışık kaynağı olabileceği gibi başka bir kaynaktan ulaşan ışığı yansıtan ikincil bir ışık kaynağı da olabilir. Parıltı L ile sembolize edilir ve birimi  $cd/m^2$ 'dir. Aynı aydınlık düzeyine sahip fakat değişik yansıtma özellikleri olan yüzeylerin değişik parıltıları vardır.

Parıltılar, direkt parıltı ve yansımali parıltı olmak üzere ikiye ayrılabilir. Direkt parıltı, uygunsuz ve yanlış monte edilen armatürlerin neden olduğu aşırı aydınlanmadan kaynaklanan parıltılardır. Parıltı, armatürden yayılan ışık demetinin yatayla yayılma açısı  $45^\circ$  civarında kritik duruma gelmektedir [16]. Direkt parıltı örneği Şekil 1.8'de gösterilmiştir.



Şekil 1.8 Direkt parıltının meydana gelmesi

Yansımali parıltı ise; gün ışığı, her türlü ışık kaynağı veya armatürlerin mekânlarda kullanılan malzemeler (özellikle parlak yüzeyli malzemelerin) üzerinde yaptıkları yansımalarla kaynaklanmaktadır [16]. Yansımali parıltı Şekil 1.9'da verilmiştir.



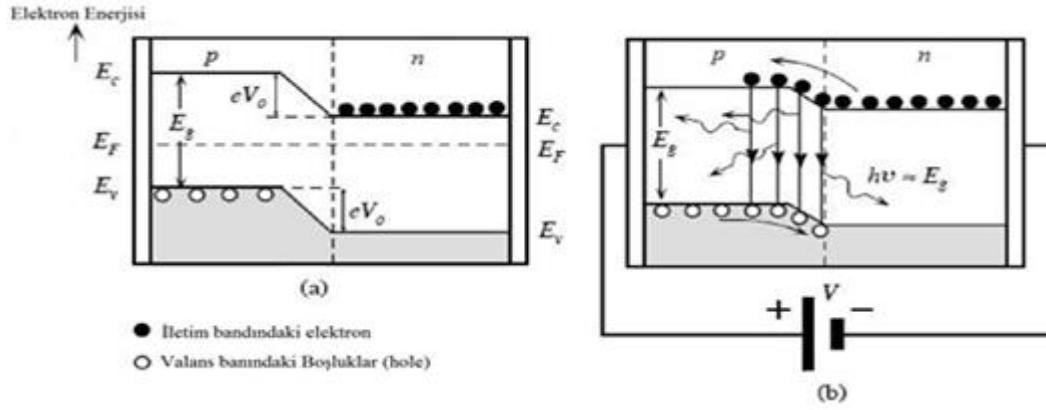
Şekil 1.9 Yansımali parıltının meydana gelmesi

## 1.2 LED'in ( Light Emitting Diode- Işık Yayan Diyot ) Yapısı ve Tarihsel Gelişimi

LED'ler, üzerine güç uygulandığında elektrik enerjisini ışık enerjisine dönüştürmek için tasarlanmış yarı iletken elemanlardır. LED'in yapısı ve elektriksel davranışları bir doğrultucu diyota benzemektedir.

LED'ler doğrultucu diyotlar gibi yarı iletken p-tipi ve n-tipi malzemelerin birleştirilmesinden oluşmaktadır. LED'ler anot ve katot olarak adlandırılan iki terminalle bağlanır. LED'in anodu katoduna göre pozitif olduğunda üzerinde elektrik akımı geçecek, fakat bunun tersi durumunda LED çalışmayacaktır [17].

Şekil 1.10'da p-n enerji bant diyagramı üzerinde bias uygulanmadan oluşan jonksiyon durumu ile bias uygulandığında oluşan jonksiyon durumu ayrı ayrı verilmiştir.  $V_0$  potansiyeli n yapının iletkenlik bandındaki üst elektronların difüzyonunu engeller (Şekil 1.10.a). Şekil 1.10.b'de ise bias geriliminin uygulanma durumu gösterilmiştir. Gerilim uygulandığında  $V_0$  azalır ve böylece p tarafına elektron difüzyonu başlar. Jonksiyon bölgesinde yeniden birleşme olur. Bu durumda p-tarafında elektronların difüzyon uzunluğu erişiminde foton emisyonu oluşur [18].



Şekil 1.10 Bias uygulanmadan ve bias uygulandığı durumlarda p-n jonksiyonu [18]

LED ile ilk görünür bölgede kırmızı ışığı, GaAs tabaka üzerinde Galyum Arsenid Fosfat (GaAsP) kullanarak 1960'ların sonlarında Nick Holonyak üretti. Resim 1.1 ilk görünür kırmızı LED'i göstermektedir. Bu LED'ler çok düşük verimliliğe (2 lm / W) sahiptiler [19]. Galyum Fosfat (GAP) tabakasının değiştirilmesi verimlilik artışına yol açarken parlak kırmızı renkte LED'ler üretilmesine izin verir.

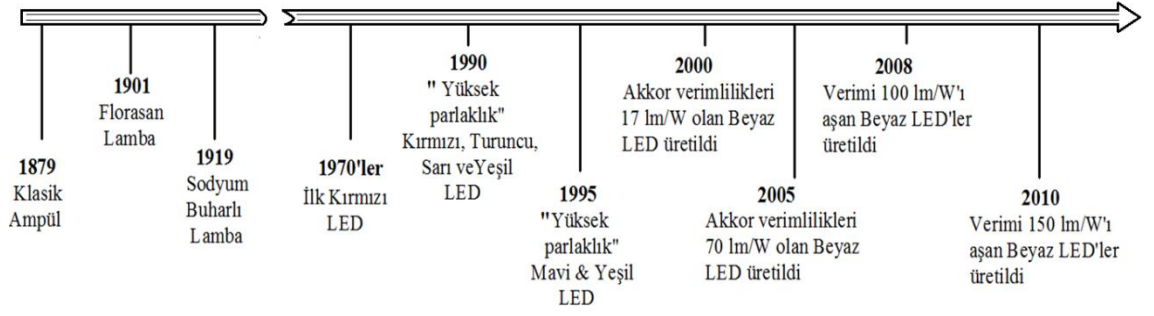


Resim 1.1 1960'larda N. Holonyak Jr tarafından üretilen ilk görünür kırmızı LED [17]

LED'ler 1970'lerin ortalarında Galyum Fosfat (GaP) ile yeşil ışık üretilmiştir. Biri kırmızı ve diğeri yeşil GaP yongaları kullanarak LED'lerin sarı ışık yayması gerçekleştirildi.

1980'lerin başlarında Galyum Alüminyum Arsenit Fosfat (GaAlAsP) kullanımı ilk önce kırmızı, sonra sarı ve nihayetinde ise yeşil LED'leri oluşturuldu. Turuncu-kırmızı, turuncu, sarı ve yeşil ışık üretmek için İndiyum Galyum Alüminyum Fosfat (InGaAlP) kullanılmıştır. 1990'ların başında güç LED'leri kullanılabilir hale gelmiştir [20]. Şekil 1.11'de ise aydınlatma sistemlerinin gelişiminde bazı dönüm noktaları gösterilmiştir.





Şekil 1.11 Aydınlatma sistemlerinin gelişiminde bazı dönüm noktaları [21]

Aydınlatma tarihine genel olarak bakıldığında aydınlanma sistemlerinin gelişimini 3 ana döneme ayırabiliriz. Bunlar;

- I - Akkor lambalar,
- II - Deşarj lambalar,
- III – Katı hal lambalardır.

Bu teknolojilerin her biri kendinden önceki teknolojilere göre ciddi bir geliştirme göstermiştir. Aydınlanma sistemlerinin gelişiminin üçüncü evresinde LED uygulamaları kullanılmaya başlanmıştır. LED'lerin tek renkli uygulamaları, yaklaşık 40 yıl önce geliştirilmiş olmasına rağmen, LED'ler aydınlatma uygulamalarında son 10-15 yıl içinde kullanılmaya başlanılmıştır. Bununla birlikte aydınlatma uygulamalarında LED'ler günden güne daha büyük önem kazanmaktadır [21].

LED'lerin tarihsel gelişimleri itibari ile incelendiğinde aşağıda sunulan gelişimleri göstermiştir;

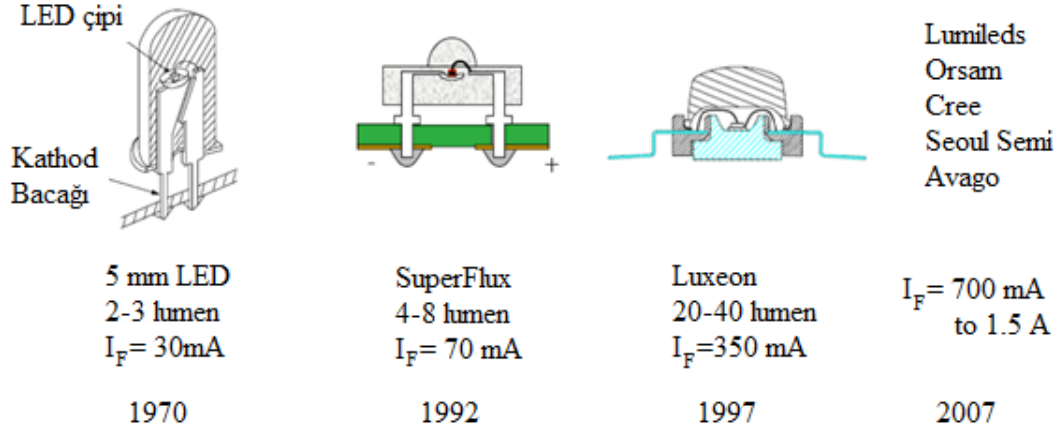
1995: Genel olarak mavi LED'lerin ortaya çıkışı ve yüksek verimli LED'lerin varlığı ile ilk beyaz LED gelişimi sağlandı.

1997: Nicha firması tarafından dünyada ilk defa yüksek parlaklıkta mavi -yeşil ve mavi LED'ler geliştirilmiştir. Aynı zamanda 1960'larda üretilen LED'lerin güç verimlilikleri 36 ay içinde iki katına çıkartılmıştır.

1999: Philips-Lumileds firması tarafından süreklilik yeteneğine sahip 1 Watt'lık güç LED'leri üretilmiştir.

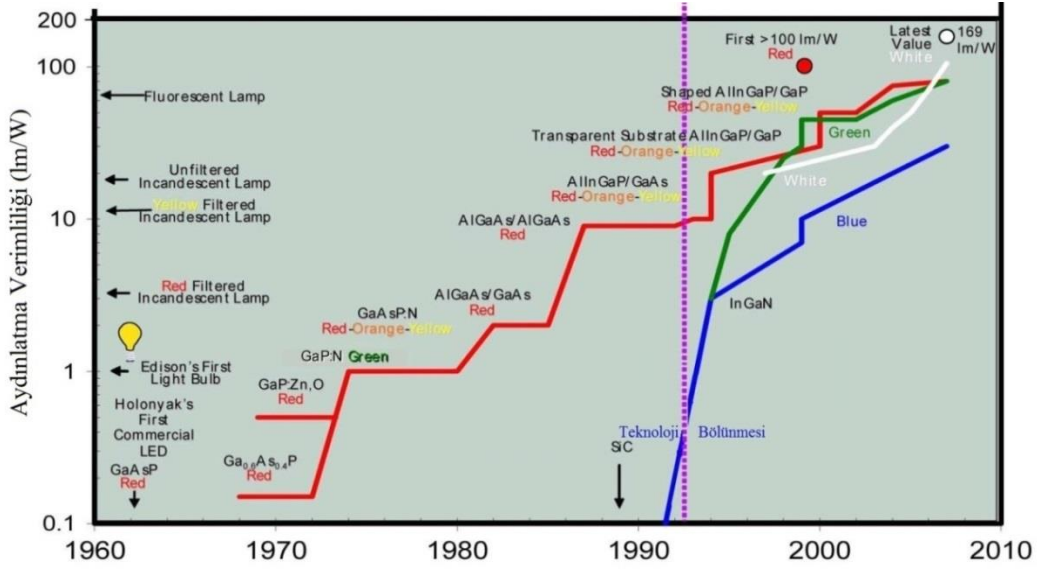
2002: Beyaz LED'ler akkor ampullerle biçimsel ve ışık verimliliği yönünden eşleştirilmiştir. Akkor lambaların verimliliği 15 lm/W değerinde iken, beyaz LED'lerin verimliliği 18-22 lm/W değerlere çıkarılmıştır.

2009: Birçok uluslararası ülke LED'leri ve LED armatürlerini ilk defa resmi standartlara dayandırmıştır. Bu sayede LED teknolojisi insanların çok daha fazla dikkatini çekmeyi başlamıştır. Aynı zamanda LED aydınlatma sistemleri tüm dünyada açık ve kapalı ortamlarda çeşitli amaçlarla kullanılmaya başlanmıştır [22]. Şekil 1.12'de LED'in tarihsel gelişimi gösterilmiştir.



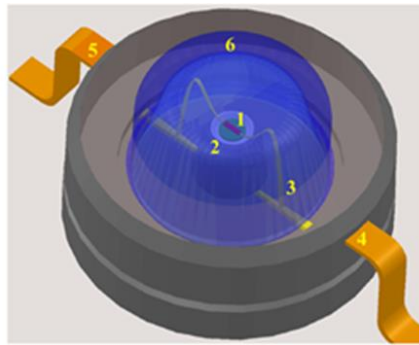
Şekil 1.12 LED'in tarihsel gelişim safhası [23]

Katı hal aydınlatma (SSL), kompakt floresan lambalardan daha fazla enerji tasarrufu yapmakta ve aydınlatma sistemleri geliştirmek için alternatif bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 1.13'te katı hal yapıdaki bazı LED'lerin verimliliklerini göstermektedir. SSL teknolojisi, ışık yayan diyot (LED) kullanımına dayanmaktadır [24]. Nick Holonyak Jr, Galyum Arsenit Fosfat kristalinin kimyasal bileşimini değiştirip kızılötesi bölgeden görünür bölgeye kaydırarak Galyum Arsenit diyotun dalga boyunu ortaya çıkarmıştır. Bu durum ilk katı hal lambaların gelişmesine izin vermiştir. Bu aydınlanma öğelerinin; titreşim, şok direnci, ömrü ve diğer aydınlatma elemanlarına göre daha az güç tüketimi açısından belirgin avantajları vardır. Bulunan bu ilk katı-hal lambalar, gösterge tipi uygulamalarda kullanılmıştır. Gelişmeler III-V ve II-VI bileşiklerin geliştirilmesi ile devam etmiştir. III-V ve II-VI malzemeler geniş bant aralığına sahip yarı iletkenler olarak bilinirler. Bunlar InAlGaN, GaN ve InGaN'dir. LED'lerin sağladığı beyaz ışık ve monokromatik renklere yüksek parlaklık, bunların kullanımını yaygın hale getirmiştir [25].



Şekil 1.13 Bazı katı hal yapıdaki LED'lerin verimlilikleri [19]

Yarı iletken yapıdaki LED'ler aydınlatma elemanlarına iyi bir alternatif olabilmeleri için güç LED'leri olarak üretilmiştir. Güç LED'ler yüksek lümen değerine sahip olması nedeniyle aydınlatma sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Güç LED'lerinin akım seviyeleri standart 5 mm çaplı LED'lerden çok daha yüksektir. Bu LED'ler kullanılmak istendiğinde özel bir sürücü devrelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Güç LED'lerinin geliştirilmesi 1960'lara dayanmaktadır. 0.5W , 1W, 2W, ..... 5W, 10W, 25W ve 50W gibi farklı güçlerde çeşitleri olan güç LED'lerinin; genellikle 350mA, 700mA, 1050mA, 1400mA, 1750mA ve üzeri akım değerleri ile beslenmesi gerekmektedir.



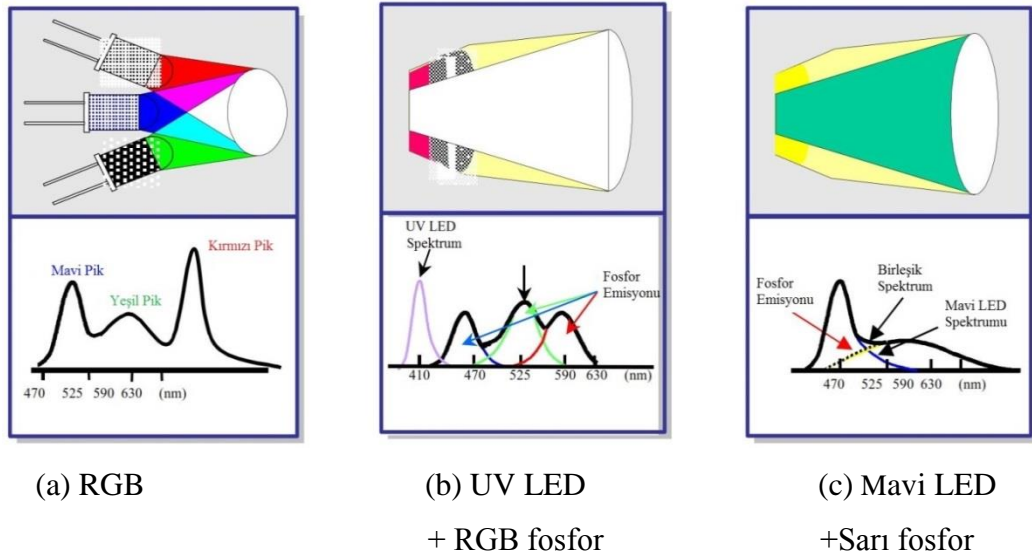
Resim 1.2 Güç LED basitleştirilmiş bir gösterimini yansıtır [24]

Aydınlatma amaçlı bir güç LED'i basit yapıda gösterilmektedir. Resimde güç LED'inin temel elemanları;

1- Aktif çip, 2- küçük reflektör, 3- altın tel, 4- Anot uçları, 5- Katot uçları, 6- Aktif çipin korunması ve yayılan ışığı toplamak için saydam bir malzemedan yapılmış lens şeklinde bir kapsülü göstermektedir [26].

### 1.2.1 Beyaz LED'ler

Beyaz ışık, üç farklı yöntemle üretilmektedir. Şekil 1.14'te üç farklı yöntem gösterilmiştir. Birinci yöntem renk karıştırma yöntemidir. Kırmızı, yeşil ve mavi olarak üç ayrı renkte LED'ler birbirine karıştırıldığında, beyaz ışık oluşur. Bu yöntem, beyaz ışık üretmek için kullanılan en yaygın olanıdır. İkinci yöntem ise, morötesi (UV) bölgede ışık yayan bir diyotun ışınlarını fosfor ile kaplayarak görünür bölgede ışık vermesini sağlanmasıyla oluşturulur. Son yöntem ise ikili tamamlayıcı dalga boyu dönüşümü olarak adlandırılan yöntemdir. Bir mavi LED, sarı fosfor ile tamamlandığında, beyaz ışık elde edilmiş olur. Çizelge 1.1 ve Çizelge 1.2'de beyaz ışık üretme yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları verilmiştir.



Şekil 1.14 Beyaz ışık üretim yöntemleri (a) renk karıştırma (kırmızı, mavi ve yeşil) (b) ultra-viyole dalga boyu dönüştürme, (c) ikili tamamlayıcı dalga boyu dönüşümü [27]

**Çizelge 1.1** Beyaz ışık üretme yöntemlerinin avantajları

	RGB Beyaz	UV LED +RGB Fosfor	Mavi LED + Sarı (+Kırmızı) Fosfor
AVANTAJLARI	<ul style="list-style-type: none"><li>• Renk, dinamik olarak değiştirilebilir.</li><li>• Aydınlatma kaynağı olarak, milyonlarca renk üretilebilir.</li><li>• En yüksek verimliliğe sahiptir.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sınırlı sayıda "renk tonu" değişim potansiyeline sahiptir.</li><li>• İyi renk homojenliği vardır.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yüksek verimlilik</li><li>• Bugünün teknolojisidir.</li><li>• Soğuk beyaz (5500 K)</li><li>• Sıcak beyaz (3200 K)</li></ul>

**Çizelge 1.2** Beyaz ışık üretme yöntemlerinin dezavantajları

	RGB Beyaz	UV LED +RGB Fosfor	Mavi LED + Sarı (+Kırmızı) Fosfor
DEZAVANTAJLARI	<ul style="list-style-type: none"><li>• Daha karmaşık elektronik sürücüsü gerektirir.</li><li>• Sıcaklık ve yaşlanmadan dolayı renk değişimleri olmaktadır.</li><li>• Aydınlatma kaynağı olarak, renk sunumu kötü olabilir.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Daha düşük verimlilik.</li><li>• UV paketleme problemlerine sahiptir.</li><li>• Ömrü daha kısadır.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sınırlı sayıda "renk tonu" değişim vardır.</li><li>• Renk tonu varyasyonları kontrol edilmelidir.</li></ul>

## 1.2.2 LED'lerin karakteristikleri

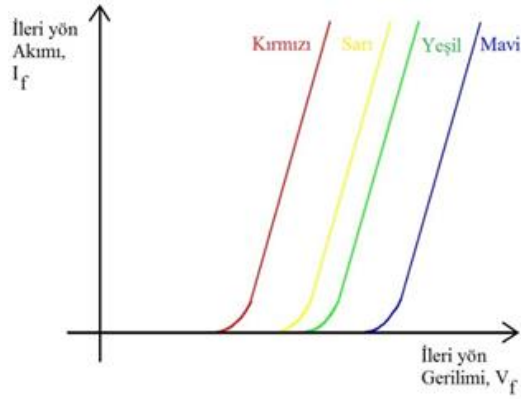
### 1.2.2.1 Akım - gerilim karakteristiği

Bir diyotun ileri yön gerilim değeri sabittir. Her diyot farklı bir ileri yön gerilim değerine sahiptir. Yarıiletkenlerin akım-gerilim (I-V) karakteristiği, yapı farklılığından dolayı aynı değildir. LED'lerin akım-gerilim karakteristiği, bir p-n jonksiyonunun I-V karakteristiğine benzemektedir.

I-V karakteristiği;

$$I = I_s \left( \exp \frac{eV}{\eta k T_j} - 1 \right) \quad (1.2.1)$$

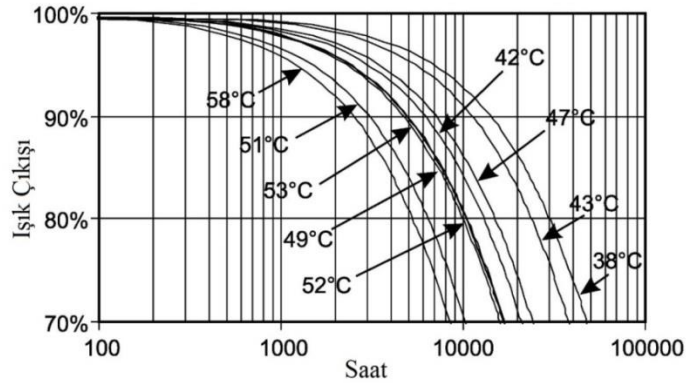
bağıntısı ile ifade edilir. Bu bağıntıda;  $I_s$  diyotun ters doyma akımını,  $k$  Boltzmann sabitini,  $\eta$  idealite faktörünü ve  $T_j$  Kelvin ölçeğinde jonksiyon sıcaklığını göstermektedir. Şekil 1.15'te genel olarak LED'in akım - gerilim karakteristiği verilmiştir [28].



Şekil 1.15 LED'in I-V karakteristiği [28]

### 1.2.2.2 LED'lerde verimlilik – zaman ilişkisi

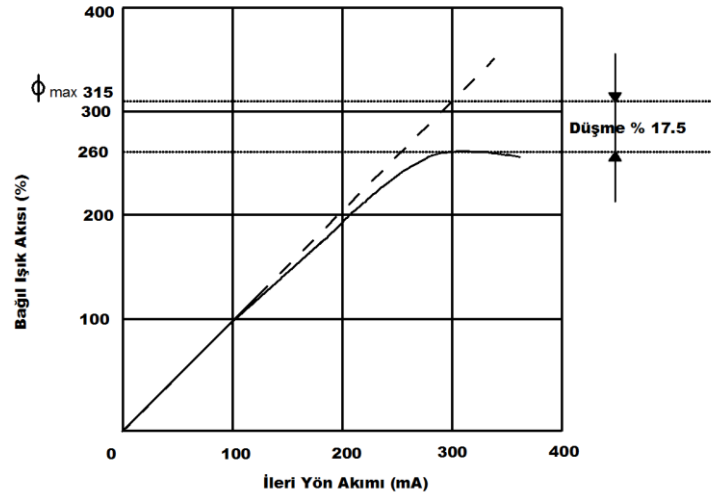
Işık verimliliği, optik gücün elektrik gücüne dönüşüm oranıyla ifade edilir ve lümen/Watt (lm/W) olarak ölçülür. [29]. Şekil 1.16'da LED'lerin verimlilik-zaman ilişkisi gösterilmektedir. LED'lerin oda sıcaklığındaki ömürleri 50 000 saatin üzerindedir [30].



Şekil 1.16 Çeşitli çevre sıcaklıklarında çalışan beyaz güç LED'leri için zamanın bir fonksiyonu olarak ışık çıkışı [30]

### 1.2.2.3 Akım - aydınlık şiddeti karakteristiği

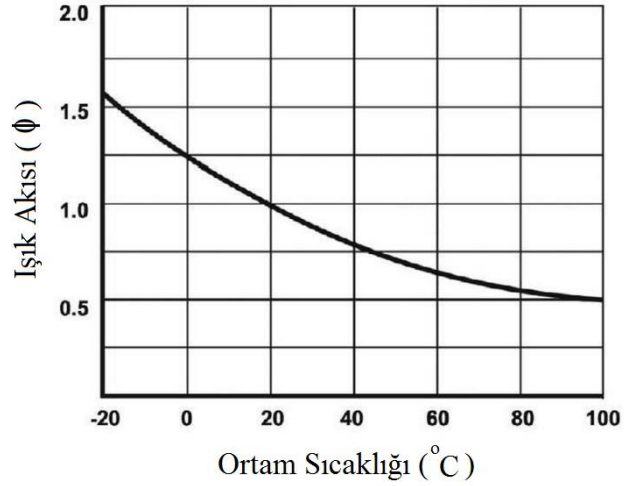
LED'lerin sürme akımları arttırılırsa daha fazla ışık yayarlar, fakat bu ilişki doğrusal bir ilişki değildir. LED'in üzerinden geçen akım iki kat arttırıldığında, ışık şiddeti de iki artmaz. LED'in üzerinden geçen akım artmaya devam etmesi LED'in aşırı ısınmasına ve bozulmasına neden olabilir. LED'lerin bu sebeplerden dolayı bozulmalarını ve aşırı ısınmalarını engellemek için genellikle sabit akım sınırlamalı LED sürücü devreleri kullanılmaktadır. Böylece bu sorun önüne geçilmiş olmaktadır [31]. Şekil 1.17'de akım - aydınlık şiddeti arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 1.17 Akım - aydınlık şiddeti karakteristiği [31]

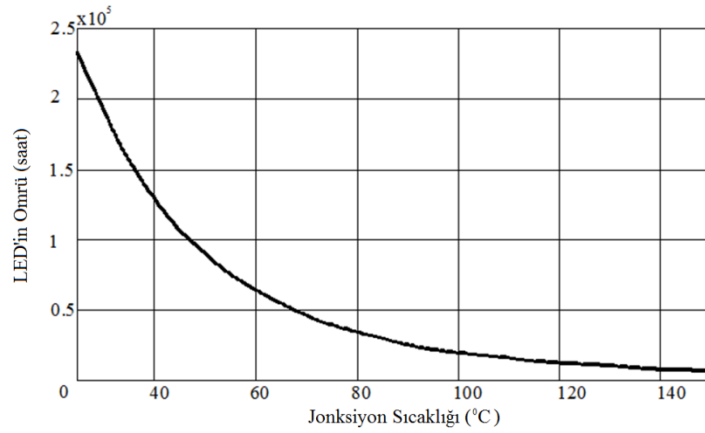
### 1.2.2.4 LED'lerde sıcaklık - ömür ilişkisi ve sıcaklık - aydınlık şiddeti ilişkisi

Diyotların karakteristik özellikleri nedeniyle ortam sıcaklığı arttıkça, ışık verimliliği azalır. Azalma miktarı LED'in yarıiletken yapıya bağlı olarak değişkenlik gösterebilir [32]. Şekil 1.18'de LED için sıcaklığa karşı ışık şiddeti arasındaki bağıntı verilmiştir.



Şekil 1.18 Sıcaklık - aydınlık şiddeti ilişkisi [32]

LED'in ömrü, jonksiyon sıcaklığının artması ile üssel olarak azalır (Şekil 1.19). LED'lerin parlaklığı üzerinden geçen akım ile ilgilidir. Ayrıca jonksiyon sıcaklığı arttığında, LED akımı ters orantılı olarak azalır. Bunun sonucunda, LED'in çalışma sıcaklığı arttığında, ışık emisyonu da azalacaktır [33].



Şekil 1.19 LED'in sıcaklık - ömür ilişkisi [33]

### 1.2.2.5 LED dalga boyları

Görünür ışık elektromanyetik dalga yapısına sahiptir. Görünür ışığın rengi ise kullanılan dalga boyu ile belirtilir. Görünür ışıkla ilgili dalga boyu birimi nanometre(nm)'dir. Gökkuşağındaki her renk elektromanyetik spektrumda farklı bir dalga boyuna karşılık gelir. 380 nm ila 780 nm dalga boyları arası görünür bölge olarak ifade edilir.



Çizelge 1.3'te LED'lerin renklerinin dalga boyları ve kullanılan yarıiletken türleri gösterilmektedir.

**Çizelge 1.3** LED'lerin renklerinin dalga boyları ve kullanılan yarıiletken türleri [34]

Renk	Dalga boyu	Gerilim	Yarı iletken Materyaller
Kızılötesi	$\lambda > 760$	$\Delta V < 1.9$	Galyum Arsenit (GaAs) Alüminyum Galyum Arsenit (AlGaAs)
Kırmızı	$610 < \lambda < 760$	$1.63 < \Delta V < 2.03$	Galyum Arsenit Fosfat (GaAsP) Alüminyum Galyum İndiyum Fosfat (AlGaInP) Galyum (III) Fosfat (GaP) Galyum Arsenit Fosfat (GaAsP)
Turuncu	$590 < \lambda < 610$	$2.03 < \Delta V < 2.10$	Alüminyum Galyum İndiyum Fosfat (AlGaInP) Galyum (III) Fosfat (GaP) Galyum Arsenit Fosfat (GaAsP)
Sarı	$570 < \lambda < 590$	$2.10 < \Delta V < 2.18$	Alüminyum Galyum İndiyum Fosfat (AlGaInP) Galyum (III) Fosfat (GaP) İndiyum Galyum Nitrat (InGaN) / Galyum (III) Nitrat (GaN) Galyum (III) Fosfat (GaP)
Yeşil	$500 < \lambda < 570$	$1.9 < \Delta V < 4.0$	Alüminyum Galyum İndiyum Fosfat (AlGaInP) Alüminyum Galyum Fosfat (AlGaP) Çinko Selenid (ZnSe)
Mavi	$450 < \lambda < 500$	$2.48 < \Delta V < 3.7$	Silisyum karbür (SiC) substrat Silikon olarak (Si) - (geliştirilme aşamasındadır)
Menekşe	$400 < \lambda < 450$	$2.76 < \Delta V < 4.0$	İndiyum galyum nitrat (InGaN)
Pembe	Birden fazla tipleri vardır	$2.48 < \Delta V < 3.7$	Elmas (235 nm) Bor Nitrat (215 nm)
Morötesi	$\lambda < 400$	$3.1 < \Delta V < 4.4$	Alüminyum Nitrat (AlN) (210 nm) Alüminyum Galyum Nitrat (AlGaN) Alüminyum Galyum İndiyum Nitrat (AlGaInN)
Beyaz	Geniş spektruma sahiptir	$\Delta V = 3.5$	Sarı fosfor ile mavi / UV diyot

### **1.3 Diğer Işık Kaynakları**

#### **1.3.1 Akkor flamanlı lamba**

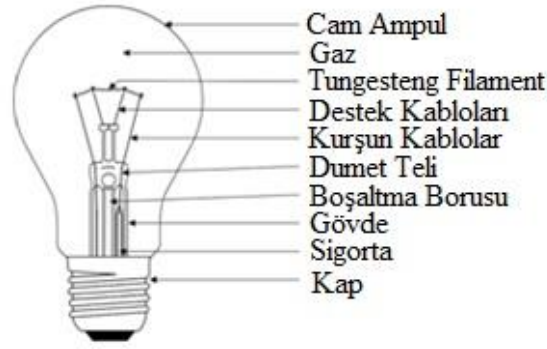
Akkor flamanlı lamba, günümüzde elektrik aydınlatma teknolojisinin en eski ve en tanınmış çeşitlerinden biridir. Şekil 1.20’de tipik bir akkor lambanın kısımları şekil olarak verilmiştir [35]. Akkor flamanlı lambanın tasarımı 1870’lerde Thomas Edison tarafından geliştirilen lambanın tasarımıyla temel olarak aynıdır. Lamba metal filaman içermektedir ve cam ile muhafaza edilmiş ve içerisinde bir soy gaz veya vakumlanmış hava bulunmaktadır. Yeterince büyük bir elektrik akımı filaman direnç üzerinden geçirildiğinde, flaman ısınmaya ve parlaklık vermeye başlar. Bu olaylar sonucunda ışık üretilmiş olur. Akkor flamanlı lambanın çalışma sıcaklık değeri 2480 °C (4500 °F). Akkor lambanın verimliliğinin düşük olması hâlihazırda bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. 100W bir akkor lambanın 2.700 °K bir filaman sıcaklığın ile çalışırken, ışıksal verimi 17 lm/W’tır [36]. Çizelge 1.4’de akkor lambanın gücüyle ışıksal verimliliğinin karşılaştırılması verilmiştir.

#### **Akkor lambaların avantajları:**

- (1) Ekonomiktir,
- (2) Kullanımı kolay, küçük ve yardımcı donanım gerektirmez,
- (3) Gerilimini değiştirerek karartma kolayca yapılabilir,
- (4) Sabit gerilimli güç kaynakları ile doğrudan çalışır,
- (5) Zehirli bileşenlerden arındırılmış,
- (6) Anlık anahtarlama uygundur.

#### **Akkor lambaların dezavantajları:**

- (1) Lamba ömrü kısadır (1000 saat),
- (2) Düşük ışık verimine sahiptir,
- (3) Isı üretimi yüksektir,
- (4) Lamba ömrü ve diğer özellikleri besleme gerilimine bağlıdır,
- (5) Yüksek işletme maliyetleri nedeniyle toplam maliyeti yüksektir [37].



Şekil 1.20. Akkor lamba

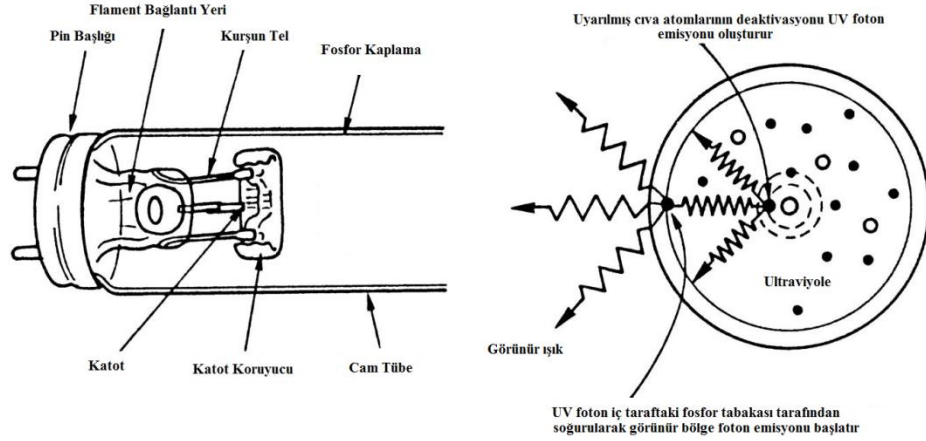
Çizelge 1.4 Akkor lambanın gücüyle etkinliğinin karşılaştırılması [32]

Güç (W)	Işıksal Çıkışı (lm)	Işıksal Verimlilik (lm/W)	Işıksal Güç (W)	Işıksal Çıkış (lm)	Işıksal Verimlilik (lm/W)
5	25	5	70	1 100	15,7
15	110	7,3	75	1 200	16,0
25	200	8,0	90	1 450	16,1
35	350	10,0	95	1 600	16,8
40	500	12,5	100	1 700	17,0
50	700	14,0	135	2 350	17,4
55	800	14,5	150	2 850	19,0
60	850	14,2	200	3 900	19,5
65	1 000	15,4	300	6 200	20,7

### 1.3.2 Floresan lamba

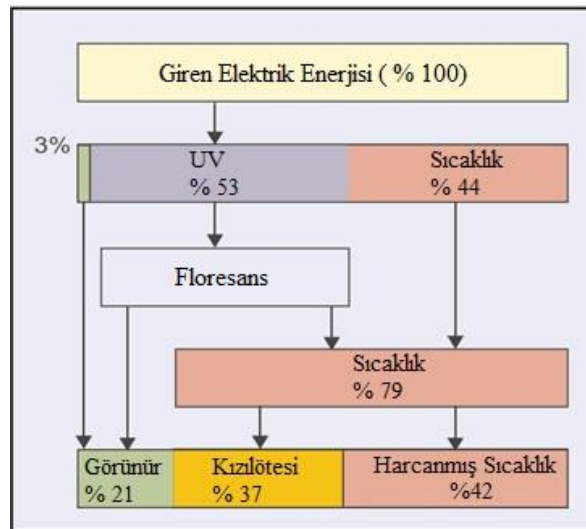
Floresan lamba, Fransız fizikçi Alexandre Becquerel tarafından 1857 yılında icat edilmiştir. Klasik floresan lamba, 1930 boyunca genel kullanım için geliştirilmeye çalışılmıştır. Floresan lambanın çalışma prensibi, lamba güç kaynağına bağlandığında, tüpün bir uçları arasındaki elektrotlar arasında bir ark oluşur. Bu arkın enerjisi tüpün içindeki cıvayı buharlaştırır. Bu buhar elektrik yüklenerek gözle görülmeyen ultraviyole (UV) ışınları saçmaya başlar. Bu ışınlar da tüpün iç yüzeyine kaplanmış olan fosfor tozlarına çarparak görülen parlak ışığı oluşturur. Kısaca, bir floresan lamba fosforesans

etkisi ile ışık üretir. Şekil 1.21'de floresan lamba bileşenleri ve fosforesans gösterilmektedir [38].



Şekil 1.21 Floresan lamba bileşenleri ve fosforesans [38]

Floresan lambalar, giriş enerjisinin yaklaşık % 20 sini görünür ışığa dönüştürebilme özelliğine sahipken, etkinlik faktörleri 25 lm/W ve 80 lm/W arasında değişmektedir. Etkinlik faktörünün bu şekilde değişme göstermesi fosfora, güç kaynağının frekansına ve ark boyunun uzunluğuna bağlıdır. Şekil 1.22'de lambaya giren enerjinin dönüşümünü göstermektedir [36].



Şekil 1.22 Bir floresan lamba içinde enerji dönüşümü [36]

**Floresan lambaların avantajları:**

- (1) Ucuzdur,
- (2) İyi aydınlatma etkinliği sahiptir,
- (3) Uzun lamba ömrü, 10 000 - 16 000 saattir.

**Floresan lambalar dezavantajları:**

- (1) Ortam sıcaklığı ışık çıkışını etkiler,
- (2) Titreme, yüksek frekanslarda insanların gözlerini tahriş edebilir,
- (3) Yardımcı balast, marş veya elektronik balast ihtiyacı vardır,
- (4) Işık çıkışı zamanla değer kaybeder,
- (5) Cıva içermektedir,
- (6) Kısa yanan döngüleri lamba ömrünü kısaltabilir [37].

**1.3.3 Düşük basınçlı sodyum lambalar**

Düşük basınçlı sodyum lambalar Arthur H. Compton tarafından 1920 yılında Westinghouse'da ilk olarak icat edildi [39]. Düşük basınçlı sodyum lambalar, floresan lambalarla birçok yönden benzemektedir. Her ikisi de düşük basınçta deşarj olmaktadır. Karakteristik yapısındaki tüm farklılıkları deşarj tüpü içerisinde bulunan cıva yerine sodyum kullanımından kaynaklanmaktadır. En önemli farklılığı, sodyum buharının basıncını korumak için lambayı daha fazla sıcak şartlarda çalıştırmak gerektirmektedir. Gerçek bir fosfor tabakasına ihtiyaç yoktur böylece daha çok UV frekans aralığında daha fazla görünür ışık yayar. Düşük basınçlı sodyum lambalar içerisinde en yaygın olarak kullanılan tipi U şeklinde olan lambalardır. Bu tasarımın tipi Resim 1.3'te gösterilmiştir [7].



Resim 1.3 Düşük basınçlı sodyum lamba yapısı [3]

Düşük basınçlı sodyum lambalar, 18W'tan -180W'a kadar değerlerde yapılmış olup, ömürleri 16.000 ile 23.000 saat arasında değişmektedir.180W'lık bir lamba etrafına 33.000 lümen verir [36].

#### **Düşük basınçlı sodyum lambaların avantajları:**

- (1) Lamba verimi yüksektir,
- (2) Geniş alanlarda kullanım için uygundur,
- (3) Bir gerilim düşümü olduğunda, 5-10 dakikalık bir ısınma süresinden sonra hemen yeniden ışık vermeye başlar,
- (4) Lümen çıkışı (örneğin LED'ler veya akkor lambalar gibi) zamanla düşmez.

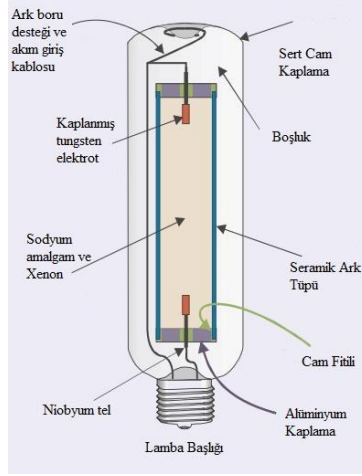
#### **Düşük basınçlı sodyum lambaların dezavantajları:**

- (1) Diğer aydınlatma elemanları içinde en kötü renk oluşturma özelliğine sahiptir,
- (2) Sodyum, havaya maruz kaldığında patlayabilir ve tehlikeli bir malzemedir [39].

#### **1.3.4 Yüksek basınçlı sodyum lambalar**

Düşük basınçlı sodyum lamba yaklaşık 0,7-1Pa gibi düşük basınçta deşarj olup ışık üretirken, yüksek basınçlı sodyum lambası (HPS) 5-10 kPa arası bir yüksek basınçta çalışır. Yüksek basınçlı sodyum lambalar ilk olarak 1965 yılında üretildi [40]. Yüksek basınçlı sodyum lambalar 50 W dan 1 kW'ta kadar çeşitli güçlerde üretilmektedir. Boyutlarına bağlı olarak etkinlik faktörleri 45 lm/W ile 150 lm/W arasındadır. Genellikle kullanım alanları fabrikalar, yüzme havuzları gibi büyük iç mekânların

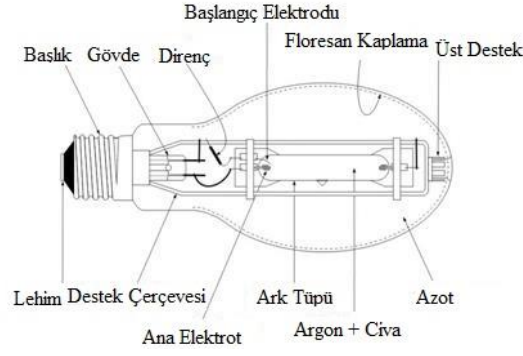
aydınlatmaları ve yol aydınlatmalarıdır. Ömürleri 10000 ile 24000 saat arasında değişmektedir [36]. Yüksek basınçlı sodyum lambanın yapısı Resim 1.4'te gösterilmiştir.



Resim 1.4 Yüksek basınçlı sodyum lambanın yapısı [33]

### 1.3.5 Yüksek basınçlı cıva buharlı lambalar

Yüksek basınçlı cıva buharlı lamba ilk defa P. Cooper Hewitt tarafından 1906 yılında bulunmuştur [41]. Bu lambanın basıncı floresan lambanın basıncından daha büyüktür [42]. Yüksek basınçlı cıva buharlı lambanın çalışma prensibi; lamba elektrik kaynağına bağlandığında, ana elektrot ve yardımcı elektrot arasında gerilim farkı oluşur. Bu elektrotlar arasında deşarj başlar ve ışık, tüp içinde yayılır [43]. Normal sıcaklıkta cıva, tüp içinde sıvı olarak bulunmaktadır. Tüp içinde elektrik iletildikten sonra cıva, iyonize olup ve buharlaştığında ark meydana gelmektedir. Cıvalı lambalar 4 -7 dakika sonra tam olarak ışık salınımına başlarlar. Şekil 1.23'te yüksek basınçlı cıva buharlı lambanın bölümleri verilmiştir.



Şekil 1.23 Yüksek basınçlı cıva buharlı lamba bölümleri [44]

Floresan lambalarda harici olarak kullanılan starter, genellikle cıva buharlı lambaların içinde dâhili olarak yer alır. Ayrıca lambanın çalışmasında yardımcı elektrotlar kullanılır. Ayrıca cıvaya ek olarak tüp içinde argon gazı da bulunmaktadır. Enerji uygulandığında, yeterli gerilim argonu iyonize eder. Yüksek basınçlı cıva buharlı lambalar 50W ile 2000W arası güçlerde üretilmektedir [41]. Bu lambaların ömürleri yaklaşık olarak 7000 saattir [45].

#### **Yüksek basınçlı cıva buharlı lambaların avantajları:**

- (1) Dış aydınlatma sistemlerinde, yüksek basınçlı cıva buharlı lambalar akkor lambalardan ve çoğu floresan sistemlerinden daha verimlidirler,
- (2) Renklerin çeşitliliği yüksek basınçlı sodyum lambalardan daha iyidir,
- (3) Etkinlik faktörü oldukça yüksektir,
- (4) Cıva buharlı lambalar, titreşim ve darbeye dayanıklıdır,
- (5) Yüksek basınçlı cıva buharlı lambaların yanma süresi uzundur.

#### **Yüksek basınçlı cıva buharlı lambaların dezavantajları:**

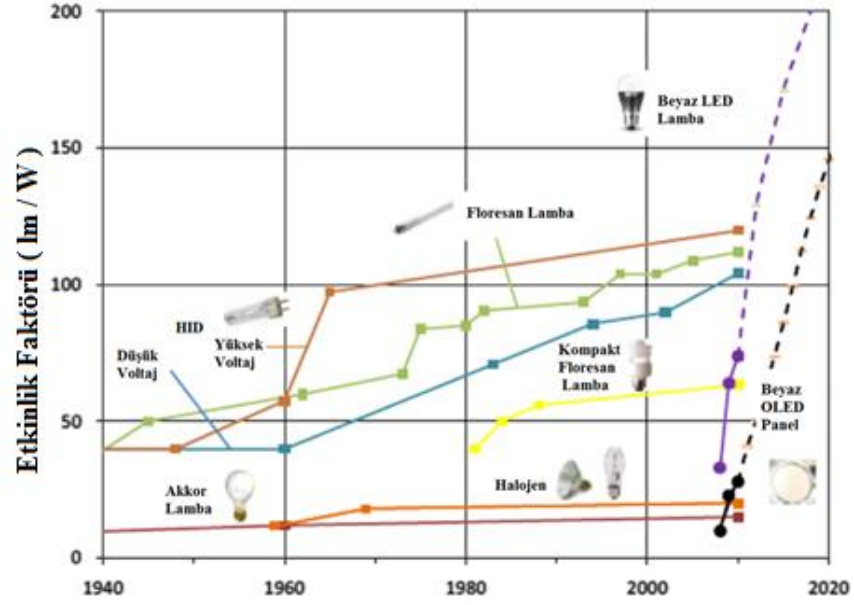
- (1) Cıva buharlı lambaların çalışması için balast gibi yardımcı araçlar gerekir,
- (2) Bu aydınlatma elemanının masrafı diğer aydınlatma elemanlarına göre daha fazladır [42].

### **1.3.6 Aydınlatma teknolojilerinin özelliklerinin karşılaştırılması**

Işık kaynakları; uygulama alanları, verimliliği, karartma kontrolü ve yaşam süresi açısından karşılaştırıldığında en verimli aydınlatma teknolojisinin LED teknolojisi



olduğu görülmektedir. Bu durum Şekil 1.24’de ve Çizelge 1.5’te gösterilmiştir. LED teknolojisi sürekli gelişmekte ve performansı arttırılmaktadır. Araştırmalar LED aydınlatma teknolojisinin kullanımını ve verimini önümüzdeki 10 yıl içinde artacağını göstermektedir.



Şekil 1.24 Işık kaynaklarının gelişimi ve öngörülen verimliliği [21]

**Çizelge 1.5** Işık kaynaklarının karşılaştırılması

Lamba Tipi	Karakteristikleri										
	Aydınlanma Verimi (lm/W)	Lamba Ömrü (saat)	Karartma Kontrolü	Tekrar Yanma Süresi	Renk İndeksi (CRI)	Dönüşüm	Kurulum Maliyeti	Çalışma Maliyeti	Uygulama Alanları		
Akkor	15-20	1000	Çok iyi	Çabuk	Çok İyi	Düşük	Çok Yüksek	Genel Aydınlatma			
Tungsten Halojen	12-35	2000-4000	Çok iyi	Çabuk	Çok İyi	Düşük	Yüksek	Genel Aydınlatma			
Cıva Buharlı	40-60	12000	Mümkün Değil	2-5 dk	Zayıf	Orta	Orta	Dış Aydınlatma			
Kompakt Floresan Lamba	40-70	6000-12000	Özel Lambalarda	Çabuk	İyi	Düşük	Düşük	Genel Aydınlatma			
Floresan Lamba	50-100	10000-16000	İyi	Çabuk	İyi	Düşük	Düşük	Genel Aydınlatma			
İndeksiyon lambası	60-80	60000-100000	Mümkün Değil	Çabuk	İyi	Yüksek	Düşük	Bakımı Zor Olan Yerler			
Metal Halojen	50-100	6000-12000	Mümkün Fakat Pratikte Yok	5-10 dk	İyi	Yüksek	Düşük	Alışveriş merkezleri, Ticari Binalar			
Yüksek Basıncılı Sodyum (Standart)	80-100	12000-16000	Mümkün Fakat Pratikte Yok	2-5 dk	Zayıf	Yüksek	Düşük	Depo, Dış, Sokak Aydınlatmalarında,			
Yüksek Basıncılı Sodyum (Renkler Geliştirilmiş)	40-60	6000-10000	Mümkün Fakat Pratikte Yok	2-6 dk	İyi	Yüksek	Düşük	Dış Aydınlatma, Ticari Binalar			
LED	20-180	50000-100000	Özel Sistemlerle	Çabuk	İyi	Yüksek	Düşük	Gelecekte Her yerde			

## 2 MATERYAL VE METOD

### 2.1 DC-DC Dönüştürücüler

DC-DC dönüştürücüler, DC elektrik enerjisini bir gerilim seviyesinden başka bir gerilim seviyesine verimli bir şekilde dönüştüren elektronik cihazlardır [46]. Doğru akımda, alternatif akımın aksine basit bir transformatör kullanarak daha düşük veya yüksek gerilimler elde edilemediğinden bu dönüştürücülere ihtiyaç vardır. Birçok yönden DC-DC dönüştürücü bir DC transformatörün eşdeğerdur. Dönüştürücülerde enerji üretilmezken, bunun aksine çok az miktarda enerji kaybı olmaktadır. Dönüştürücülerdeki enerji dönüşümü;

$$P_i = P_o + P_k \quad (2.1.1)$$

bağıntısıyla ifade edilir. Bu bağıntıda;  $P_i$  giriş gücünü,  $P_o$  çıkış gücünü,  $P_k$  enerji kaybını göstermektedir.

Enerji kaybının olmadığı varsayıldığında çıkış gücünün giriş gücüne eşit olduğu görülür. Bu durum aşağıdaki bağıntıda gösterilmiştir;

$$V_i \cdot I_i = V_o \cdot I_o \quad (2.1.2)$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{I_i}{I_o} \quad (2.1.3)$$

(2.1.2) ve (2.1.3) bağıntılarına göre giriş gerilimi arttırıldığında giriş akımı azalacak veya bunun tam tersi durum gerçekleşmektedir. Uygulamada kullanılan hiçbir dönüştürücü % 100 verimlilikten çalışmaz. Bu yüzden verimliliği ifade etmek için yeni bir konsepte ihtiyaç vardır. Verimlilik aşağıdaki bağıntıda gösterilmiştir;

$$\text{Verimlilik (\%)} = \frac{P_o}{P_i} \quad (2.1.4)$$

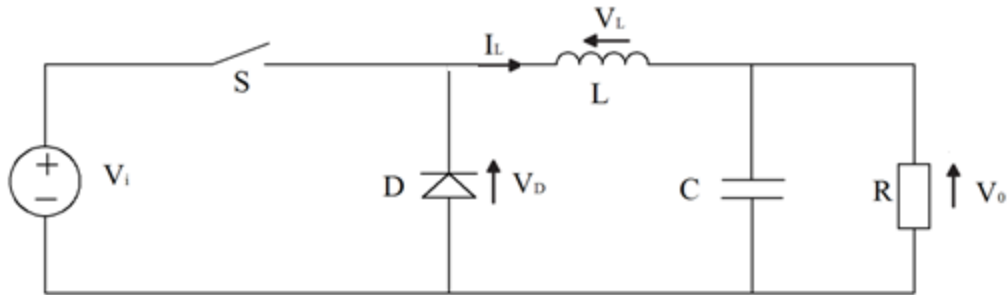
burada  $P_0$  çıkış gücünü ve  $P_i$  giriş gücünü ifade etmektedir. Günümüzde bazı tip dönüştürücülerde mümkün olduğu kadar az devre elemanı kullanarak verimin % 90'lar üzerine çıkarılması sağlanmıştır.

Dönüştürücüler genellikle düşürücü (buck), yükseltici (boost), düşürücü-yükseltici (buck-boost) ve cuk ve olarak dört ana tipte bulunmaktadır. Yükseltici dönüştürücüler gerilim seviyesini daha yüksek bir seviyeye çıkarmak için kullanılırken düşürücü dönüştürücüler gerilim seviyesini daha düşük bir seviyeye dönüştürmede kullanılmaktadır. Düşürücü-yükseltici ve cuk dönüştürücüler; DC güç kaynaklarının regülasyonunda, giriş geriliminin ortak terminaline göre çıkış geriliminin negatif kutuplu olması istenildiğinde veya giriş geriliminden daha az veya daha fazla olabileceği yerlerde yaygın bir biçimde kullanılmaktadır [46].

## 2.1.1 DC-DC dönüştürücülerin topolojileri

### 2.1.1.1 Düşürücü (buck) dönüştürücü

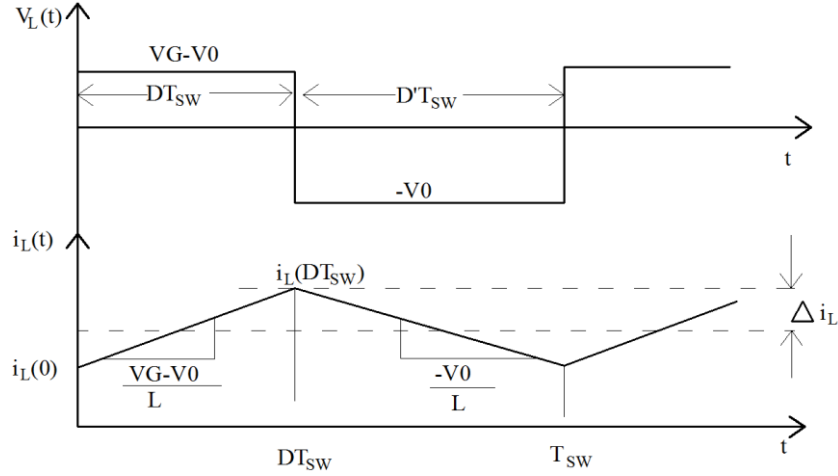
Düşürücü dönüştürücüler, mevcut gerilim seviyesinin daha altında bir gerilim seviyesine ihtiyaç duyulduğunda kullanılırlar. Şekil 2.1'de düşürücü dönüştürücülerin devre şeması gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Düşürücü dönüştürücülerin devre şeması [47]

S anahtarı kapalı olduğunda, bobin üzerinden lineer bir şekilde akım geçmeye başlar. Bunun yanı sıra kapasitör şarj olur. S anahtarı açıldığında, bobin üzerine düşen gerilim tersine çevrilir. Buna karşın bobin akımı aniden deşarj olmaz ve akım lineer bir şekilde azalmaya başlar. Aynı zamanda kapasitör bobindeki enerjiyle şarj edilmektedir.

Bobinin giriş ve çıkış gerilimlerinin dalga formları Şekil 2.2’de gösterilmiştir. İyi tasarlanmış bir dönüştürücüde temel amaç, dönüştürücünün çıkışındaki dalgalanmanın küçük bir düzeyde kalmasıdır [48].



Şekil 2.2 Düşürücü dönüştürücüde kararlı haldeki bobin geriliminin ve akımının dalga formları [48]

Belirtilen bobin gerilimi,

$$V_L(t) = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.1.5)$$

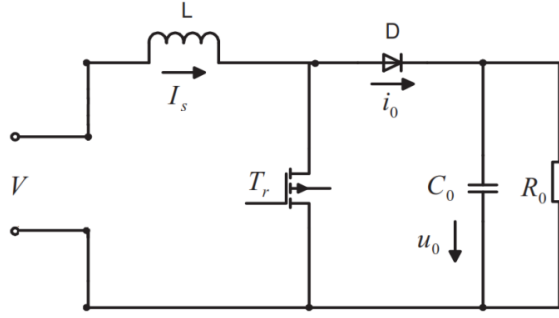
Kapasitör akımı,

$$I_C(t) = C \frac{dV_C(t)}{dt} \quad (2.1.6)$$

bağıntılarıyla ifade edilirler.

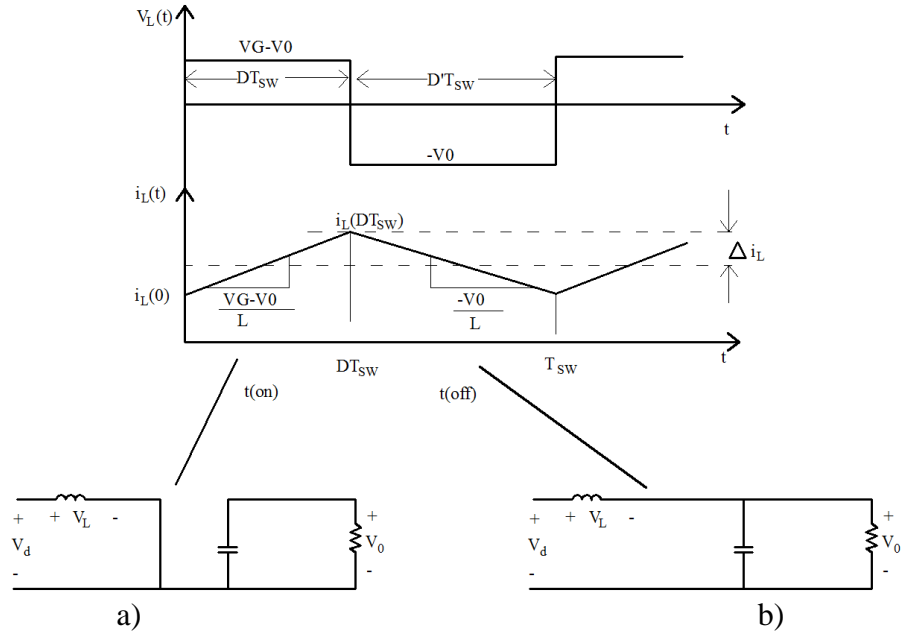
### 2.1.1.2 Yükseltici (boost) dönüştürücü

Yükseltici dönüştürücüler çıkış gerilim seviyesini giriş geriliminden daha yüksek bir seviyede üretme yeteneğine sahip olan dönüştürücülerdir [49]. Yükseltici dönüştürücü devre Şekil 2.3’te verilmiştir.



Şekil 2.3 Temel bir yükseltici dönüştürücü devresi [49]

Anahtar kapalı konumda olduğunda, bobin üzerinden akım akmaya başlar. Diyotun kutupları ters polarizasyonda olduğu için iletme geçmediğinden şarj olan kapasitör yüke enerjisini aktardığından kapasitörde enerji azalması olacaktır. Daha sonra anahtar açıldığında diyot iletme geçecektir. Bu durumda hem kapasitör tekrar şarj olacak hem de yük üzerinden akım akacaktır. Bu durum sürekli ve süreksiz mod olarak aşağıdaki Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Sürekli süreksiz mod; a) Anahtar kapalı b) Anahtar açık [50]

Kararlı haldeki çıkış geriliminin bağıntısı,

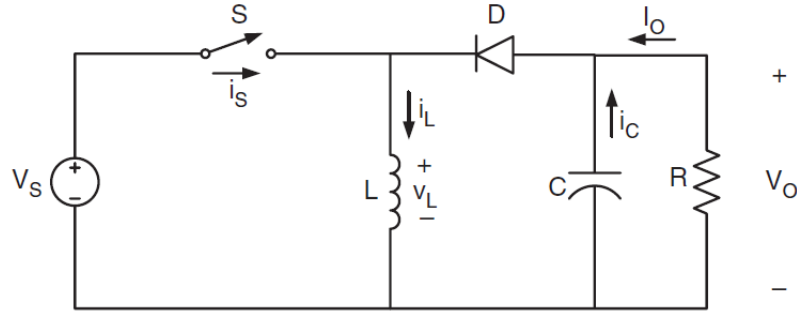
$$V_g \cdot T_{on} + (V_g - V_0) \cdot T_{off} = 0 \quad (2.1.7)$$

$$\frac{V_0}{V_g} = \frac{T_{SW}}{T_{off}} = \frac{1}{1-D} \quad (2.1.8)$$

ile ifade edilir. Yükseltici dönüştürücülerde çıkış gerilimi giriş geriliminden daha yüksek olmasına karşın, giriş akımı da çıkış akımından daha büyüktür.

### 2.1.1.3 Düşürücü yükseltici (buck-boost) dönüştürücüler

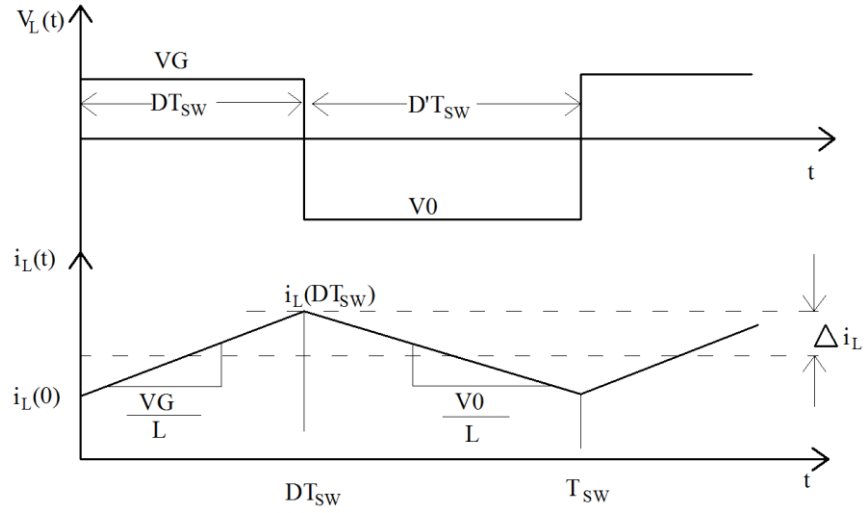
Çıkış geriliminin seviyesi, giriş geriliminin seviyesinden daha fazla veya daha az olması veya çıkış geriliminin giriş gerilimine göre ters polaritede olması istendiğinde yaygın olarak düşürücü yükseltici dönüştürücüler kullanılmaktadır [48]. Şekil 2.5'te düşürücü yükseltici (Buck-Boost) dönüştürücülerin devre diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Düşürücü - yükseltici (Buck-Boost) konverter [51]

Anahtar kapalı durumda olduğunda giriş gerilimi bobin üzerine uygulanır ve bobin akımı lineer şekilde artmaya başlar. Diyot üzerine düşen gerilim ters yönde olduğu için diyot akımı sıfırdır. Diyot üzerinden akım akmadığı için yük üzerinden geçen akımı kapasitör sağlamaktadır. Bu yüzden kapasitörün enerjisinde azalma olacaktır.

Anahtar açık olduğunda ise kaynakla devrenin ilişkisi kesilmiş olunur. Bobin ters polariteyle yüklendiğinde diyot iletme geçer ve bobin akımı diyot akımına eşit olur. Anahtarın açık olduğu sürece bobinde depolanan enerji kapasitör ve yüke aktarılır. Böylece kapasitör şarj edilmiş olur. Kararlı haldeki bobin akımı ve gerilimi Şekil 2.6'da gösterilmiş.



Şekil 2.6 Kararlı durumdaki bobin akımının ve geriliminin dalga formu [48]

Kararlı haldeki çıkış gerilimi bağıntıları aşağıda verilmiştir;

$$V_g \cdot T_{on} + V_0 \cdot T_{off} = 0 \quad (2.1.9)$$

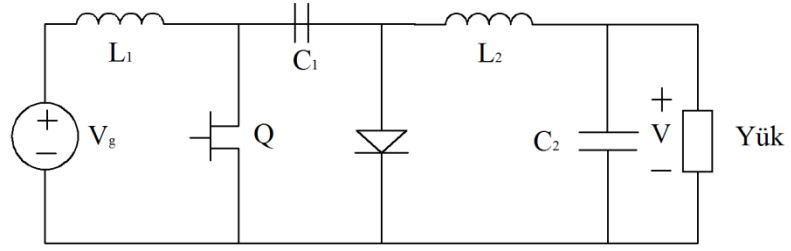
$$\frac{V_0}{V_g} = \frac{T_{SW}}{T_{off}} = -\frac{D}{1-D} \quad (2.1.10)$$

D'nin değeri 0 ile 1 arasında değişim göstermektedir. Bu durumda çıkış gerilimi giriş geriliminden büyük veya küçük olabilmekte, fakat giriş gerilimine göre ters polariteye sahip olmaktadır.

#### 2.1.1.4 Cuk dönüştürücüler

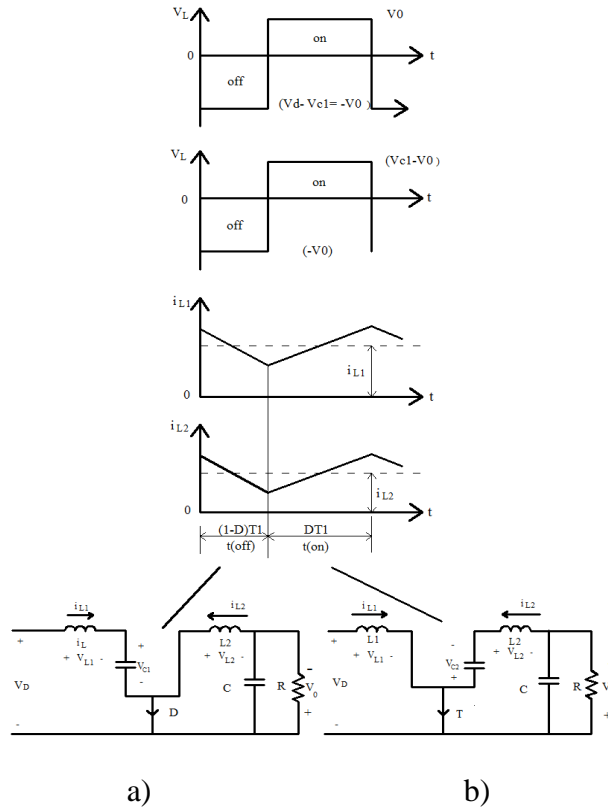
Cuk dönüştürücüler gerilim düşürücü ve yükseltici dönüştürücülerin kaskadlanmasıyla türetilmiştir [48]. Düşürücü - yükseltici dönüştürücü gibi cuk dönüştürücü de giriş geriliminin ortak ucuna göre ters kutuplu düzenlenmiş çıkış gerilimi vermektedir. Bu devrede  $C_1$  kondansatörü, enerjiyi depolayıp girişten çıkışa aktaran birinci eleman vazifesini görür [50]. Şekil 2.7' de Cuk devre şeması verilmiştir.





Şekil 2.7 Cuk dönüştürücü devre şeması [52]

Diyot açıkken, kondansatör  $L_1$  aracılığıyla devre girişine bağlanır. Bu durumda kapasitör kaynaktan enerji depolar. Bu döngü sırasında kapasitör ( $C_1$ ) akımı giriş akımı olan  $I_i$ 'ye eşit olur. Transistor Q açık olduğunda, kapasitörde depolanan enerji  $L_2$  üzerinden yüke aktarılır. Bu döngü boyunca kapasitör ( $C_1$ ) akımı çıkış akımına eşit olur. Cuk dönüştürücü dalga şekilleri Şekil 4.8'de gösterilmektedir.



Şekil 2.8 Cuk dönüştürücü dalga şekilleri; a) Anahtar açık b) Anahtar kapalı [50]

Kararlı haldeki akım değerleri;

$$I_i \cdot T_{off} + (-I_0) \cdot T_{on} = 0, \quad (2.1.11)$$

$$\frac{I_0}{I_i} = \frac{(1-D)}{D} \quad (2.1.12)$$

bağıntılarıyla verilir. Güç dönüşüm kuralları uygulandığında ise;

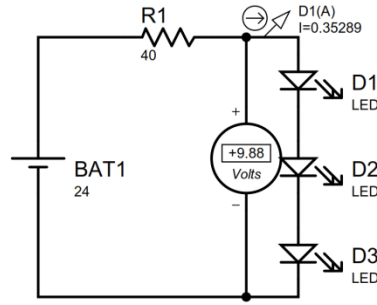
$$\frac{V_0}{V_i} = - \frac{D}{(1-D)} \quad (2.1.13)$$

bağıntısı elde edilir. Cuk dönüştürücülerin gerilim oranları incelendiğinde bunların düşürücü-yükseltici dönüştürücülere benzediği görülmektedir.

## 2.2 Akım Sınırlamalı LED Sürücüleri

### 2.2.1 Dirençle yapılan basit sürücü devresi

Daha öncede belirtildiği gibi LED'ler ışık yaymak için sabit akıma ihtiyaç duyarlar. Şekil 2.9'da sadece direnç kullanılarak yapılan basit sürücü devresi gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Basit sürücü devresi

Şekil 2.9'da devrede 24 V'luk sabit bir gerilim kaynağı, 3 tane 1 W'lık güç LED'leri ve akımı sınırlamak için ise direnç bulunmaktadır. Devreye ilk enerji uygulandığında LED üzerinden 0,35 A akım geçer. Zaman geçtikçe LED'ler ısınmaya başlar ve LED'lerin ileri yön gerilimi düşer. Bu durumda Ohm - Yasası göre devreden geçen akım artar ve sıcaklık belirli bir dereceye ulaştığında LED'e uygulanan akım 0,39 A düzeyine çıkar. Akımın artışı LED'in daha çok ısınmasına neden olur ve önlem alınmazsa, LED bir süre sonra bozulabilir.

Basit bir sürücü devrede sürücü akımı,

$$I = \frac{V_{kaynak} - V_f \cdot n}{R} \quad (2.2.1)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada  $I$ , LED'e uygulanan akımı,  $V_{\text{kaynak}}$ , devreye uygulanan gerilim değerini,  $V_f$ , LED'in ileri yön gerilimini,  $n$  ise LED sayısını göstermektedir.

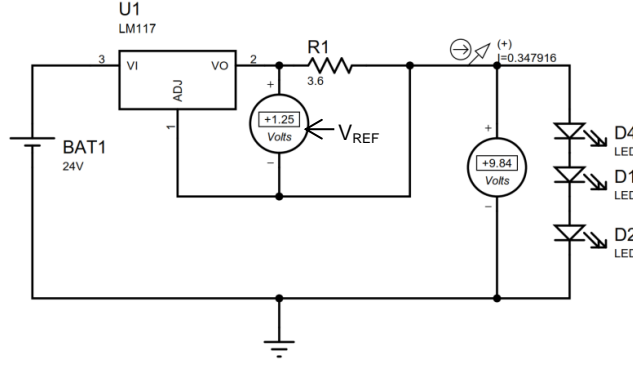
**Çizelge 2.1** Dirençle yapılan basit sürücü devresinin sonuçları

LED Sürücünün Gücü	LED Sürücünün Giriş Gerilimi ( V )	LED Sürücünün Verimliliği ( % )	LED Sürücünün Çıkış Akımı ( mA )	LED Sürücünün Çıkış Gücü (Watt)
1 Watt	12	27	340	1,14
	24	13	342	1,12
3 Watt	12	82	350	3,3
	24	41	350	3,4
5 Watt	12	-	-	-
	24	68	340	5,6

Çıkış güçleri 1W, 3W ve 5W olan bu sürücü devreleri tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tasarımı yapılan bu devrelerin analizleri yapılmış ve sonuçlar Çizelge 2.1'de verilmiştir. Çizelge 2.1'deki sonuçlar incelendiğinde giriş gerilimi düşük olduğunda verimin daha yüksek olduğu görülmektedir.

### 2.2.2 LM117 regülatörü ile yapılan LED sürücüsü devresi

Diğer bir akım sınırlamalı LED sürme devresi ise LM117 entegresi kullanılarak yapılan LED sürücü devresidir (Şekil 2.10). Bu entegre LED sürücü devresi olarak, giriş gerilimi 1,2 V ile 30 V arasında ve çıkış akımı 1,5 A'e kadar olan uygulamalarda kullanılabilir [16]. Şekil 2.10'daki gibi ayarlanabilir ucuna bağlanan dirençler sayesinde çıkış gerilimini sabit tutulmaktadır. LM117 yüksek güçteki LED sürücüleri için kullanılmaya uygun değildir. Bu sürücüde kullanılan LM117 entegresi üzerinde devre iletimdeyken yaklaşık olarak 4,5 W kayıp olmaktadır. Bu da, anılan sürücü devresinin verimini düşürmektedir.



Şekil 2.10 LM117 ile yapılan sürücü devresi

Şekil 5.2'deki devrede çıkış akımını  $I_o$  ve Referans gerilimi  $V_{REF}$ ,

$$I_o = \frac{V_{REF}}{R_1^*} \quad (2.2.2)$$

$$V_{REF} = 1,25 V, \quad R_1^* = 0,8 \leq R_1 \leq 120 \quad (2.2.3)$$

bağıntıları ile verilir.

**Çizelge 2.2** LM117 regülatör devresi ile yapılan LED sürücüsü devresinin sonuçları

LED Sürücünün Gücü	LED Sürücünün Giriş Gerilimi ( V )	LED Sürücünün Verimliliği ( % )	LED Sürücünün Çıkış Akımı ( mA )	LED Sürücünün Çıkış Gücü (Watt)
1 Watt	12	27	350	1,15
	24	14	350	1,15
3 Watt	12	82	344	3,2
	24	41	345	3,3
5 Watt	12	-	-	-
	24	68	355	5,4

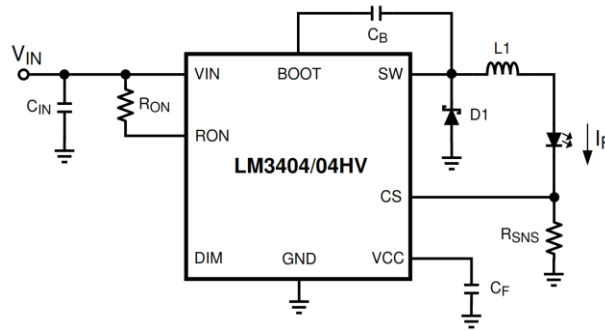
LM117 regülatör devresi ile yapılan LED sürücüsü devresi farklı güçlerde tasarımı Proteus 8'de yapılmıştır. Tasarımı yapılan bu devrelerin analizleri yapılmış ve sonuçlar Çizelge 2.2'de verilmiştir. Verilerin incelenmesinden düşük gerilim değerlerinde verimliliğin daha yüksek olduğu görülmektedir. Kullanılan LM117 entegresi yaklaşık

olarak 4 W- 5 W arası enerji harcadığı belirlenmiştir. Bunun ise verimi düşüren bir etken olduğu görülmektedir.

### 2.2.3 DC-DC düşürücü (buck) dönüştürücü temelli akım sınırlamalı LED sürücüleri

Bu çalışmada, DC-DC düşürücü (buck) dönüştürücü temelli akım sınırlamalı LED sürücüleri tasarlanırken LM3404 ve LM3406 entegreleri kullanılmıştır. Bu entegreler kullanılarak 1 W, 3 W ve 5 W'lık LED sürücü devreleri tasarlanmış ve sonuçlar incelenmiştir.

LM3404 gerilim düşürücü bir regülatör olup düşük gerilim referansı, geniş giriş gerilim aralığı ve hızlı bir çıkış fonksiyonuna sahiptir. LED'ler için sabit bir akım sağlamanın yanı sıra 1,2 A'e kadar yüksek akım gerektiren yerlerde de kullanılmaktadır. Bu sürücülerin uygulama alanları sabit akım kaynağı, otomotiv aydınlatması, genel aydınlatma ve LED sürücü gibi yerlerdir. Şekil 2.11 LM3404'ün tipik bir uygulamasını gösterir [53].



Şekil 2.11 LM3404'ün tipik bir uygulaması [53]

LED akımı toprağa akım ayarlı direnci üzerinden ( $R_{SNS}$ ) aktığında  $V_{SNS}$  gerilim sinyali oluşturulur.  $V_{SNS}$  pini CS pini tarafından geri beslenerek referans voltajı ( $V_{REF}$ ) 200mV ile karşılaştırılır. Gerilim  $V_{REF}$ 'in altına düştüğünde güç MOSFET'i üzerindeki karşılaştırıcı açılır. Açık kalma süresi ( $t_{ON}$ ), harici bir direnç ( $R_{ON}$ ) ve giriş gerilimi ( $V_{IN}$ ) ile ayarlanır.  $t_{ON}$ , boyunca güç MOSFET'i iletimdedir. Açık kalma süresi;

$$t_{on} = 1.34 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{R_{ON}}{V_i} \quad (2.2.4)$$

bağıntısı ile belirlenir [50]. Sabit anahtarlama frekansı ise aşağıda verilen bağıntı ile hesap edilir;

$$f_{SW} = \frac{V_0}{1.34 \cdot 10^{-10} \cdot R_{ON}}, \quad (2.2.5)$$

burada  $V_0$ ,

$$V_0 = n \cdot V_F + 200mV \quad (2.2.6)$$

bağıntısı ile bulunur. Diğer taraftan  $V_F$ , LED'in ileri yön gerilimi, n ise seri LED sayısıdır. Ortalama LED akımı, maksimum çıkış gerilimi, maksimum LED sayısı, çıkış kapasitörü olmadan/varken düşürücü dönüştürücü akımı, seri bağlı n tane LED dizisi için toplam dinamik rezistansı, giriş kapasitörü, çıkış indüktörü ve akım algılayıcı direnç değeri hizalarında verilen adlarla birlikte aşağıdaki bağıntularla verilir [50];

Ortalama LED akımı:

$$I_{L-MIN} = \frac{0.2}{R_{SNS}} - \frac{V_0 \cdot t_{SNS}}{L} \quad (2.2.7)$$

Maksimum çıkış gerilimi:

$$D_{max} = \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF-MIN}} \quad (2.2.8)$$

$$V_{0(Max)} = D_{Max} \cdot V_i \quad (2.2.9)$$

Maksimum LED sayısı:

$$n_{MAX} = \frac{V_{0(MAX)} - 200mV}{V_{F(MAX)}} \quad (2.2.10)$$

Bağıntıda  $V_{F(MAX)}$ , LED'in ileri yön geriliminin maksimum değeridir.

Çıkış kapasitörü olmadan düşürücü dönüştürücü akımı:

$$\Delta_{iL} = \Delta_{iF} = \frac{V_i - V_0}{L} \cdot t_{ON} \quad (2.2.11)$$

Çıkış kapasitörü varken düşürücü dönüştürücü akımı:

$$\Delta i_F = \frac{\Delta i_L}{1 + \frac{r_D}{Z_C}} \quad (2.2.12)$$

Bağıntıda  $r_D$  seri bağlı n tane LED dizisi için toplam dinamik rezistanstır.

Seri bağlı n tane LED dizisi için toplam dinamik empedans:

$$Z_C = ESR + \frac{1}{2\pi \cdot f_{SW} \cdot C_0} \quad (2.2.13)$$

Giriş kapasitörü:

$$C_{i(MIN)} = \frac{I_F \cdot t_{on}}{\Delta V_{i(MAX)}} \quad (2.2.14)$$

Çıkış indüktörü:

$$L = \frac{V_i - V_0}{\Delta i_L} \cdot t_{on} \quad (2.2.15)$$

Akım algılayıcı direnç değeri:

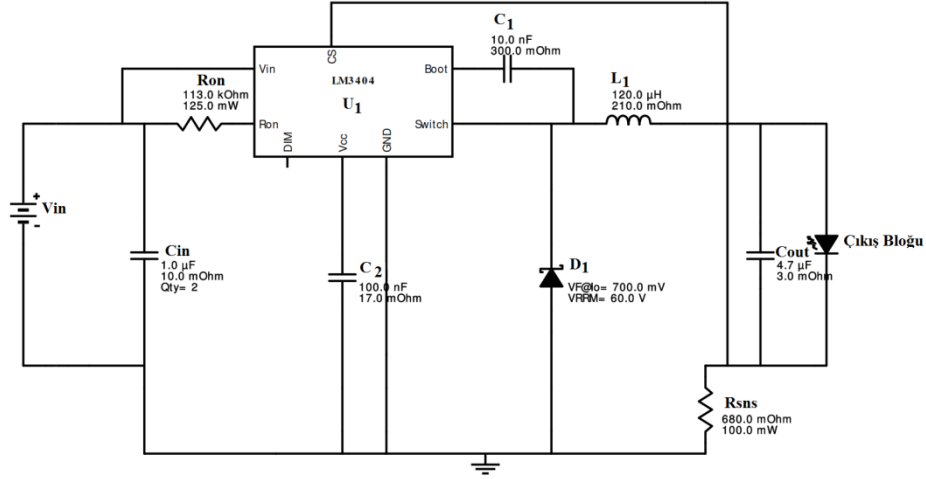
$$R_{SNS} = \frac{0.2 \cdot x \cdot L}{I_F \cdot L \cdot V_0 \cdot t_{SNS} - \frac{V_i - V_0}{2} \cdot t_{on}} \quad (2.2.16)$$

Toplam çıkış gücü ( $P_0$ ):

$$P_0 = I_F \cdot V_0 \quad (2.2.17)$$

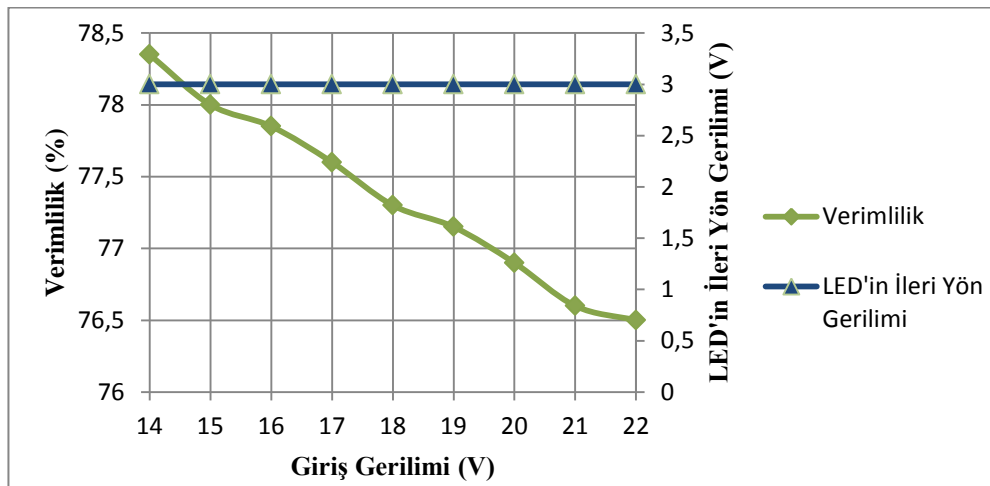
bağıntılarıyla hesaplanır.

LM3404 ile yapılan sürücü devresinde giriş gerilimi 12 V ile 24 V arasında değişirken çıkış akımı 350 mA ve 700 mA olarak ayarlanarak 1 W, 3 W ve 5 W değerlerinde devreler tasarlanmış ve devre performans parametrelerinin değişimleri belirlenmiştir.



Şekil 2.12 LM3404 kullanılarak yapılan 1 W'lık LED sürücü devresi

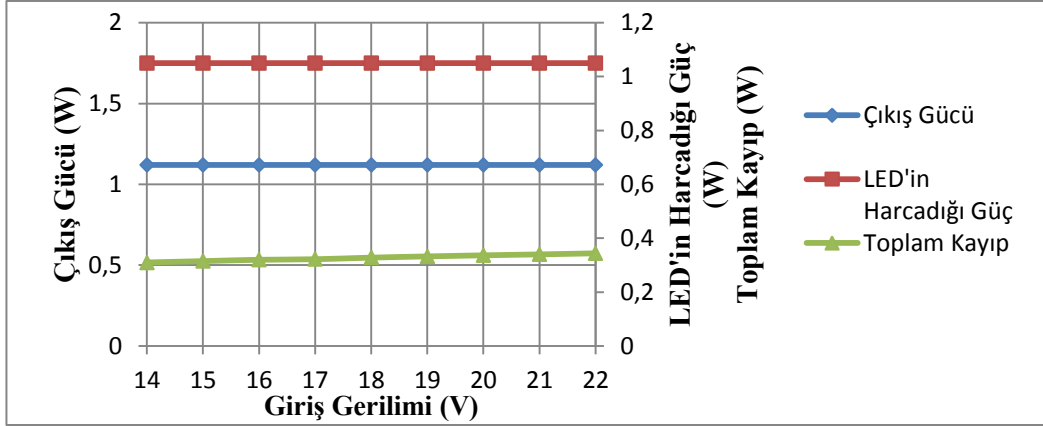
LM3404 ile hazırlanan sürücü devresinde giriş gerilimi 14 V ile 22 V arasında değişirken çıkış akımı 1 W'lık LED sürücüsü için 350 mA'dır. Şekil 2.12'de 1 W'lık LED sürücü devresi gösterilmektedir. Şekil 2.13, 14 ve 15'de 1 W'lık LED sürücü devresinin verimliliği, LED'in ileri yön gerilimi, çıkış gücü, toplam enerji kaybı, LED'in enerji kaybı, giriş akımı ve LED'in çıkış akımının değişimleri verilmiştir.



Şekil 2.13 LM3404 entegresi ile yapılan 1 Watt'lık LED sürücü devresinin verimliliğinin ve LED'in ileri yön geriliminin giriş gerilimine göre değişimi

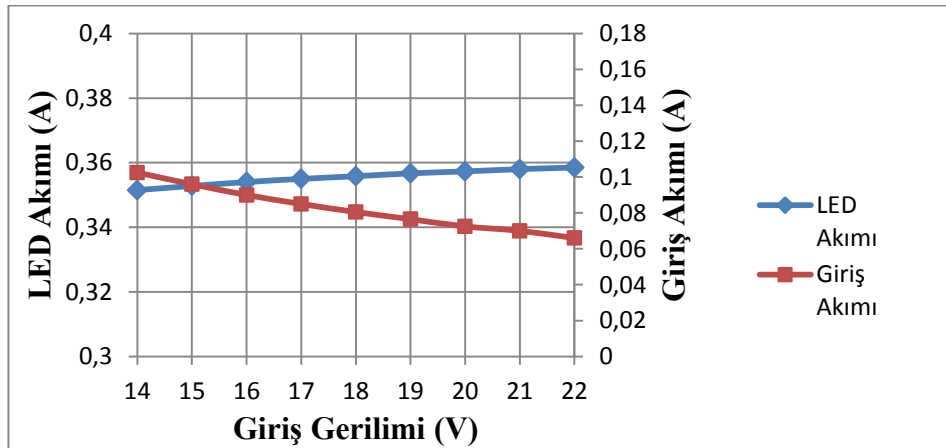


Şekil 2.13'te giriş gerilimine bağlı olarak verimliliğin ve LED'in ileri yön geriliminin değişimi verilmektedir. Verimliliğin; giriş gerilimi daha düşük olduğu durumlarda yükseldiği, bunun yanında ise LED'in ileri yön geriliminin giriş gerilimine bağlı olmayıp değişmediği görülmektedir.



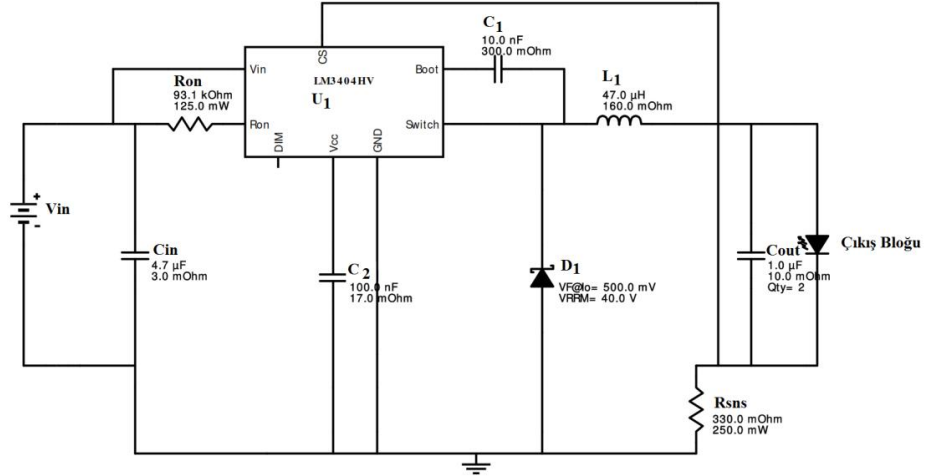
Şekil 2.14 LM3404 entegresi ile yapılan 1 Watt'lık LED sürücü devresinin çıkış gücünün, LED'in harcadığı gücün ve toplam kaybın giriş gerilimine göre değişimi

Şekil 2.14'te çıkış gücünün, LED'in harcadığı gücünün ve toplam enerji kaybının giriş gerilimine göre değişimi verilmektedir. Şekil 2.14 incelendiğinde çıkış gücünün 1,12 W, LED'in harcadığı gücünün ise 1,05 W olduğu gösterilmektedir. Çıkış gücü ve LED'in harcadığı gücün, giriş geriliminin değişimlerine bağlı olmadığı görülmektedir.



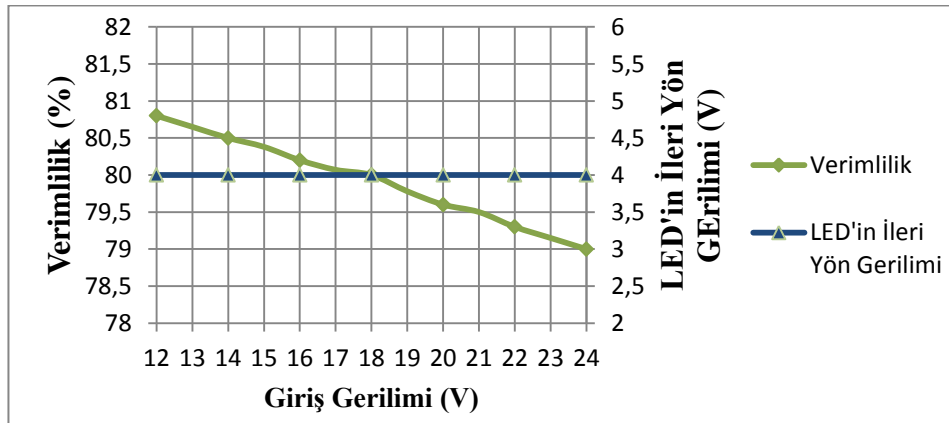
Şekil 2.15 LM3404 entegresi ile yapılan 1 Watt'lık LED sürücü devresinde LED'in giriş akımının ve LED akımının giriş gerilimine göre değişimi

Şekil 2.15'te 1 Watt'lık LED sürücüsünde giriş akımının ve çıkış akımının giriş gerilimine göre değişim grafiği verilmektedir. Giriş gerilimi arttıkça LED akımının arttığı görülmektedir.



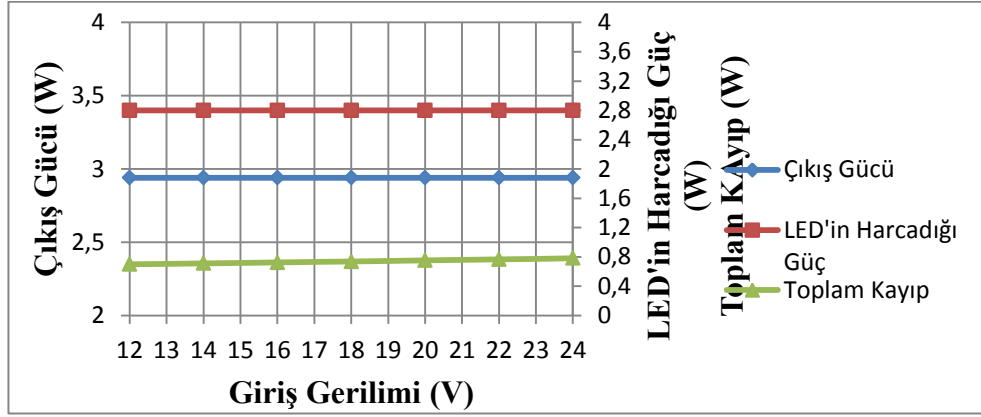
Şekil 2.16 LM3404 kullanılarak yapılan 3 W'lık LED sürücü devresi

LM3404 ile yapılan sürücü devresinde giriş gerilimi 12 V ile 24 V arasında değişirken çıkış akımı 3 Watt LED sürücü için 700 mA'dir. Şekil 2.16'da 3 W'lık LED sürücü devresi gösterilmektedir. Aşağıda devrenin verimliliğinin, çıkış gücünün, toplam kaybının, LED'in ileri yön geriliminin, LED'in kaybının, giriş akımının ve LED'in çıkış akımlarının giriş gerilimine göre değişimleri verilmiştir.



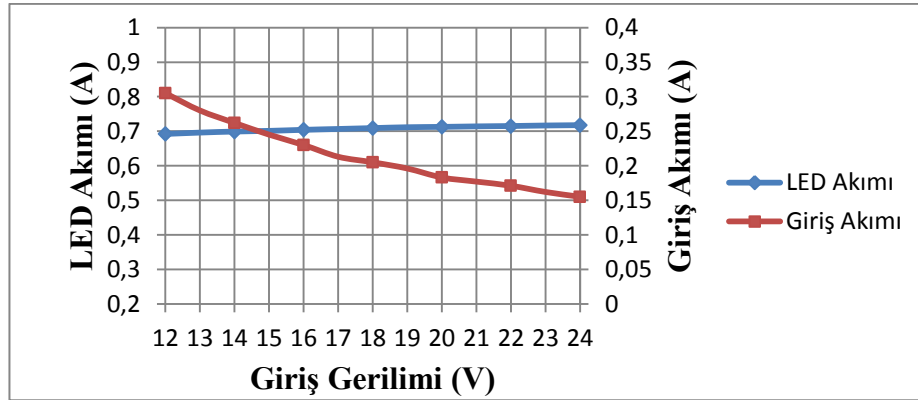
Şekil 2.17 LM3404 entegresi ile yapılan 3 Watt'lık LED sürücü devresinin verimliliğinin ve LED'in ileri yön geriliminin giriş gerilimine göre değişimi

Şekil 2.17’de devrenin giriş gerilimine bağlı olarak verimliliğin ve LED’in ileri yön geriliminin değişimi gösterilmektedir. Verimliliğin, giriş gerilimi daha yüksek olduğu durumlarda daha düşük olduğu görülmektedir.



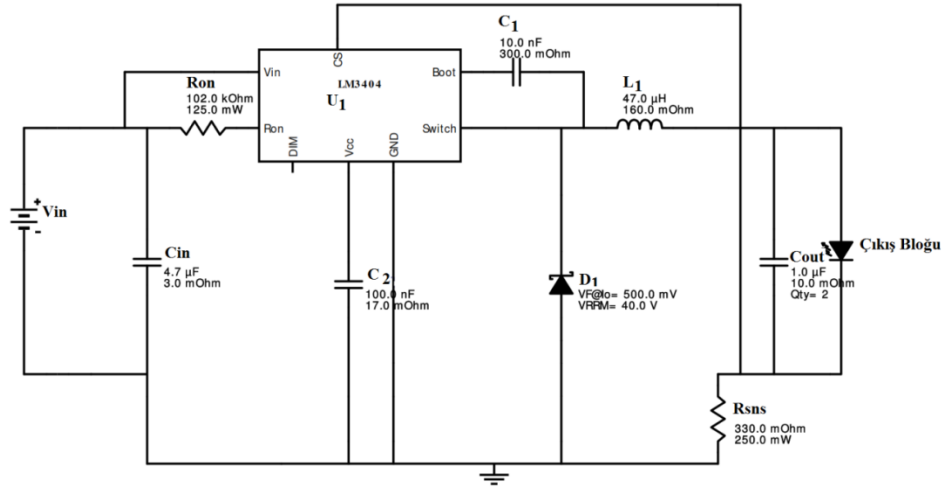
Şekil 2.18 LM3404 entegresi ile yapılan 3 Watt’lık LED sürücü devresinin çıkış gücünün, LED’in harcadığı gücünün ve toplam kaybın giriş gerilimine göre değişimi

Çıkış gücünün, LED’in harcadığı gücünün ve toplam enerji kaybının giriş gerilimine göre değişimi Şekil 2.18’de gösterilmektedir. Şekil 2.18 incelendiğinde çıkış gücünün 2,94 W, LED’in harcadığı gücünün ise 2,8 W olduğu gösterilmektedir. LED sürücü devresinin çıkış gücü ve LED’in harcadığı güç giriş gerilimine bağlı olmadığı görülmektedir.



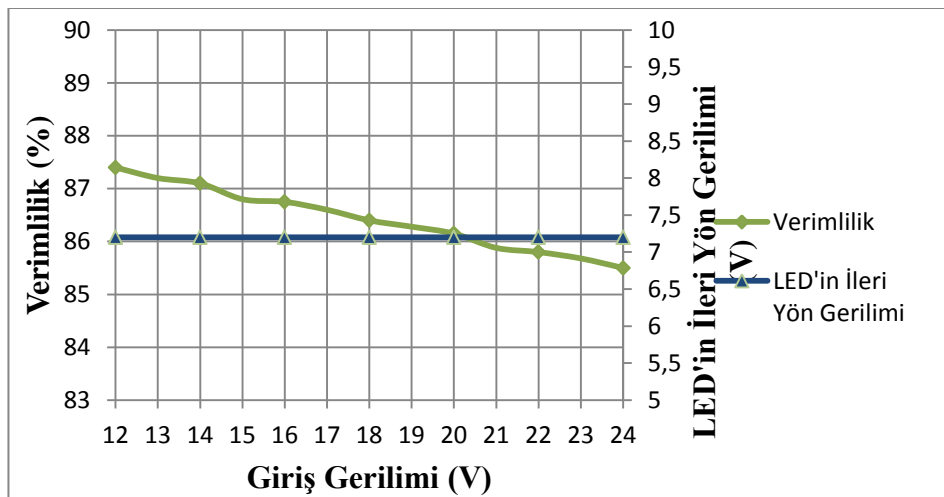
Şekil 2.19 LM3404 entegresi ile yapılan 3 Watt’lık LED sürücü devresinde LED’in giriş akımının ve LED akımının giriş gerilimine göre değişimi

3 Watt’lık LED sürücü devresinin giriş akımının ve çıkış akımının giriş gerilimine göre değişim grafiği Şekil 2.19’da verilmiştir. LED akımının yüksek olduğu değerlerde giriş geriliminin de yüksek olduğu görülmektedir.



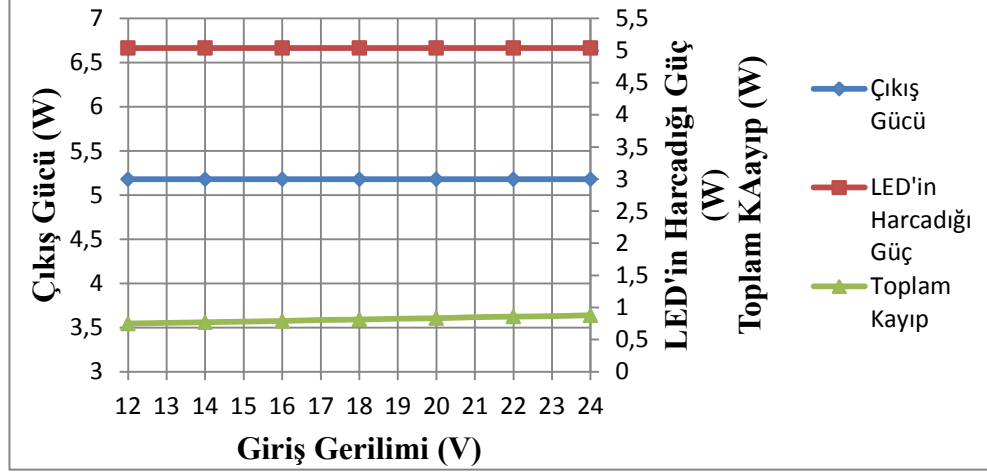
Şekil 2.20 LM3404 kullanılarak yapılan 5 W'lık LED sürücü devresi

LM3404 ile yapılan 5 Watt LED sürücü devresinde giriş gerilimi 12 V ile 24 V arasında değişirken çıkış akımı 700 mA'dır. Şekil 2.20'de 5W'lık anılan LED sürücü devresi gösterilmektedir. Aşağıda devrenin verimliliğinin, çıkış gücünün, toplam enerji kaybının, LED'in ileri yön geriliminin, LED'in enerji kaybının, giriş akımının ve LED'in çıkış akımlarının giriş gerilimine göre değişimleri Şekil 2.21,22 ve 23'de verilmiştir. Buna göre verimliliğin giriş gerilimine göre değişimi ve LED'in ileri yön geriliminin giriş gerilimine göre değişimi Şekil 2.21'de gösterilmektedir. Bu değişimde verimliliğin giriş gerilimi yükseldikçe düştüğü, bununla birlikte giriş gerilimi değiştikçe LED'in ileri yön geriliminin değişmediği görülmektedir.



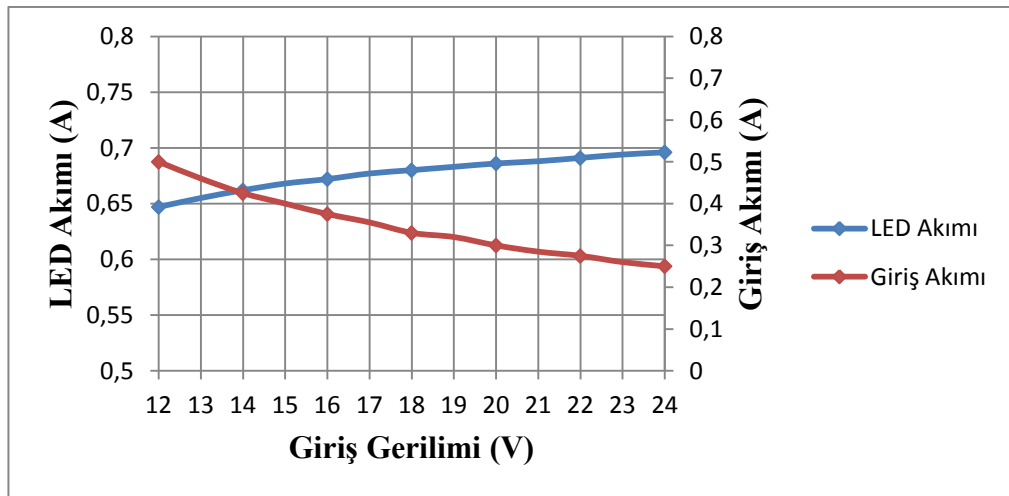
Şekil 2.21 LM3404 entegresi ile yapılan 5 Watt'lık LED sürücü devresinin verimliliğinin ve LED'in ileri yön geriliminin giriş gerilimine göre değişimi

Çıkış gücünün giriş gerilimine göre değişimi incelendiğinde çıkış gücünün 5,18 W'ta sabit olduğu Şekil 2.22'de görülmektedir. Ayrıca giriş gerilimine bağlı olarak 5 Watt'lık LED sürücü devresinin harcadığı güç ve toplam enerji kaybı Şekil 2.22'de gösterilmektedir.

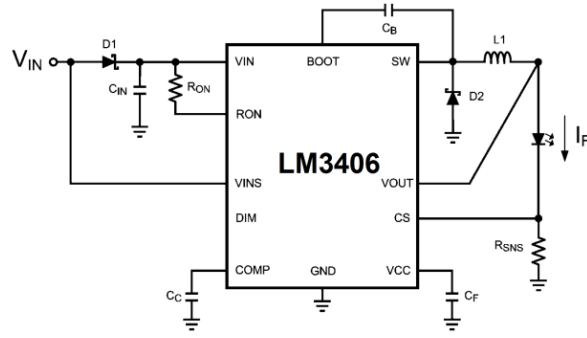


Şekil 2.22 LM3404 entegresi ile yapılan 5 Watt'lık LED sürücü devresinin çıkış gücünün, LED'in harcadığı güç ve toplam kaybın giriş gerilimine göre değişimi

LM3404 entegresi kullanılarak yapılan 5 Watt'lık LED sürücüsünün giriş akımının ve çıkış akımının giriş gerilimine göre elde edilen değişim grafiği Şekil 2.23'te verilmiştir. Burada, LED sürücü devresinin giriş gerilimi yükseldikçe LED akımının da yükseldiği görülmektedir.

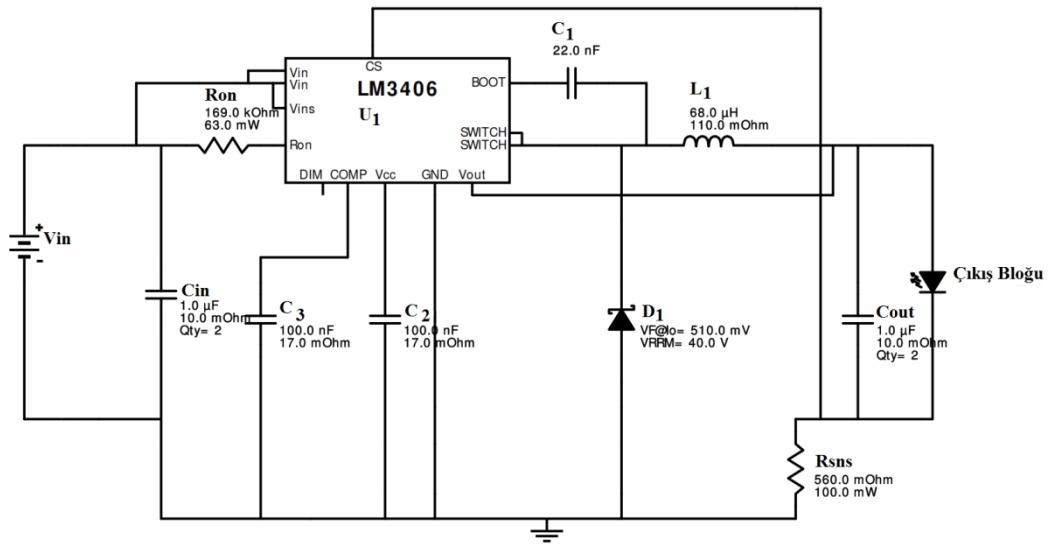


Şekil 2.23 LM3404 entegresi ile yapılan 5 Watt'lık LED sürücü devresinde LED'in giriş akımının ve LED akımının giriş gerilimine göre değişimi



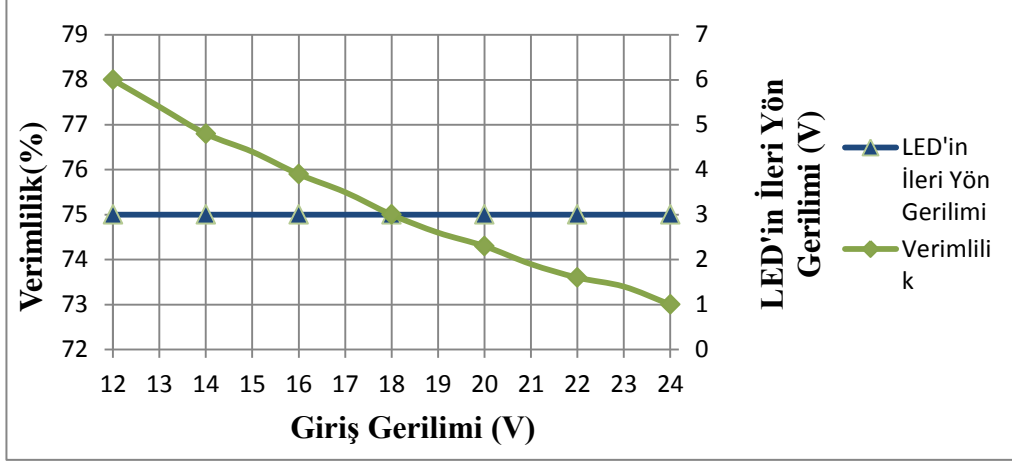
Şekil 2.24 LM3406 uygulama devresi [54]

Diğer bir DC-DC düşürücü entegresi ise LM3406 regülatörüdür. Anılan regülatör düşük voltaj referansı, geniş giriş gerilim aralığı ve hızlı bir çıkış fonksiyonuna sahiptir. Bununla birlikte aynı regülatör, LED'ler için sabit bir akım sağlamasının yanı sıra 1,5A'e kadar yüksek akım gerektiren yerlerde de kullanılmaktadır. LM3406'nın uygulama devresi Şekil 2.24'te verilmiştir.



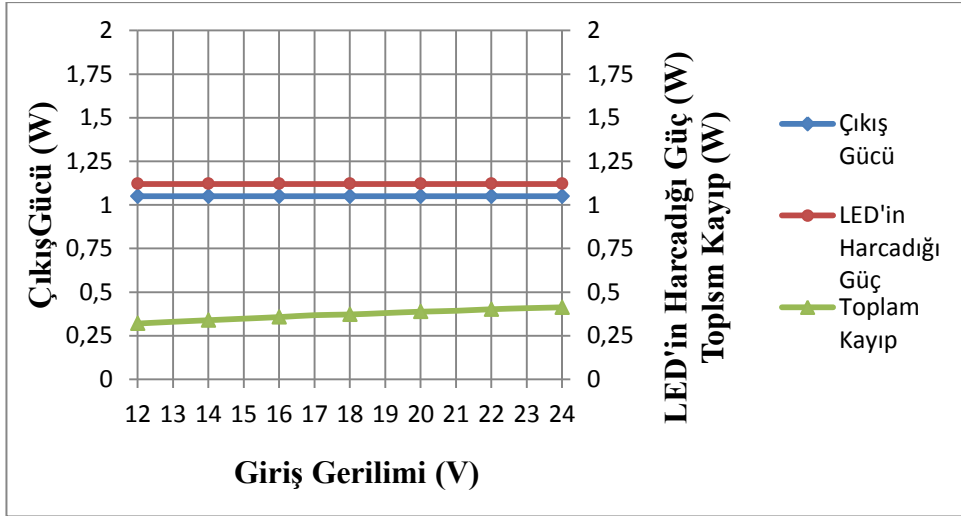
Şekil 2.25 LM3406 kullanılarak yapılan 1 W'lık LED sürücü devresi

LM3406 ile yapılan sürücü devresinde giriş gerilimi 12 V ile 24 V arasında değişirken çıkış akımı 1 Watt LED sürücü için 350 mA'dir. Şekil 2.25'deki 1 W'lık LED sürücü devresi gösterilmiştir. Bu devrenin verimliliğinin, çıkış gücünün, toplam enerji kaybının, LED'in ileri yön geriliminin, LED'in harcadığı gücün, giriş akımının ve LED'in çıkış akımlarının giriş gerilimlerine göre değişimleri aşağıda grafikler halinde verilmiştir.



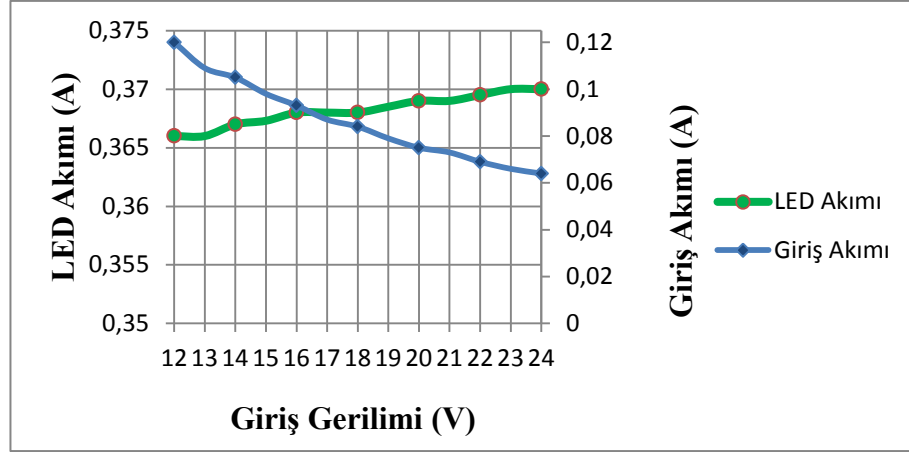
Şekil 2.26 LM3406 entegresi ile yapılan 1 Watt'lık LED sürücü devresinin verimliliğinin ve LED'in ileri yön geriliminin giriş gerilimine göre değişimi

Şekil 2.26'da LM3406 ile yapılan 1 Watt'lık sürücü devresinin verimliliğinin giriş gerilimine bağlı olarak değişimi ve LED'in ileri yön gerilimi gösterilmektedir. Giriş gerilimi daha düşük olduğu durumda verimliliğin daha yüksek olduğu görülmektedir. LED'in ileri yön geriliminin giriş gerilimine bağlı olmadığı görülmektedir.



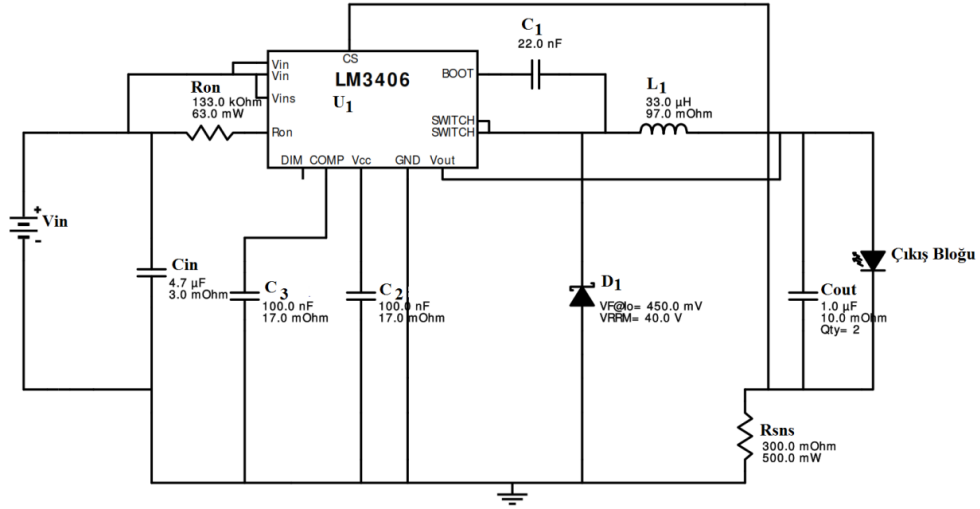
Şekil 2.27 LM3406 entegresi ile yapılan 1 Watt'lık LED sürücü devresinin çıkış gücünün, LED'in harcadığı gücün ve toplam kaybın giriş gerilimine göre değişimi

Şekil 2.27'de giriş gerilimi değişmesine rağmen çıkış gücünün 1,12 W olup, sabit olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 2.27'de giriş gerilimine bağlı olarak 1 Watt'lık LED'in harcadığı güç ve toplam kayıp gösterilmektedir.



Şekil 2.28 LM3406 entegresi ile yapılan 1 Watt'lık LED sürücü devresinin de LED'in giriş akımının ve LED akımının giriş gerilimine göre değişimi

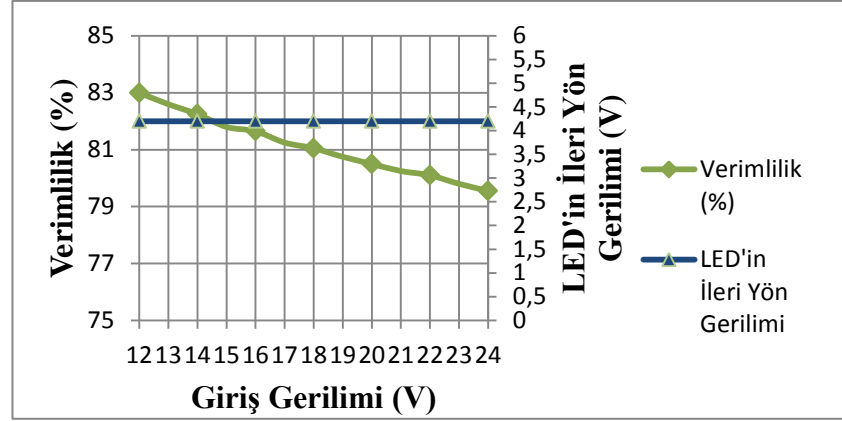
LM3406 entegresi kullanılarak tasarlanan 1 Watt'lık LED sürücüsünün giriş akımının ve çıkış akımının giriş gerilimine göre değişimi Şekil 2.28'de verilmiştir. LED akımının yüksek olduğu değerlerde giriş geriliminin de yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 2.29 LM3406 kullanılarak yapılan 3 W'lık LED sürücü devresi

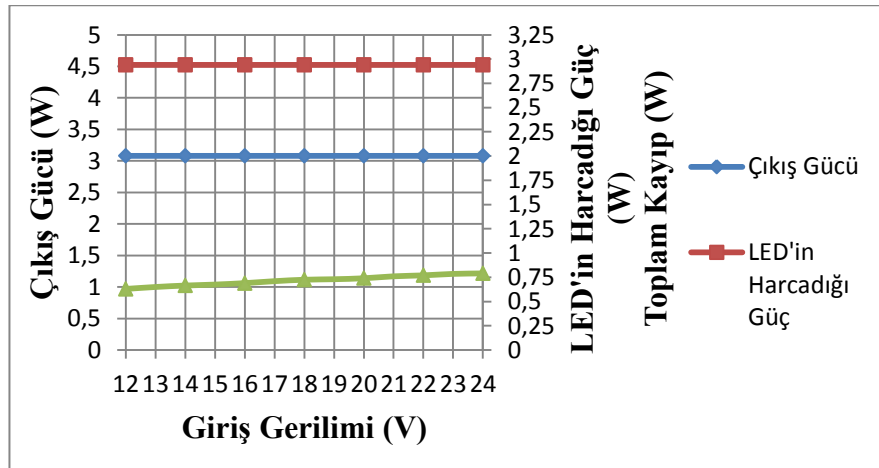
LM3406 ile yapılan sürücü devresinde giriş gerilimi 12 V ile 24 V arasında değişirken çıkış akımı 1 Watt LED sürücü için 700 mA'dir. Şekil 2.29'da 3 W'lık LED sürücü devresi gösterilmiştir. Bu devrenin verimliliğinin, çıkış gücünün, toplam kaybının, LED'in ileri yön geriliminin, LED'in kaybının, giriş akımının ve LED'in çıkış akımının değişimleri aşağıda verilmiştir.





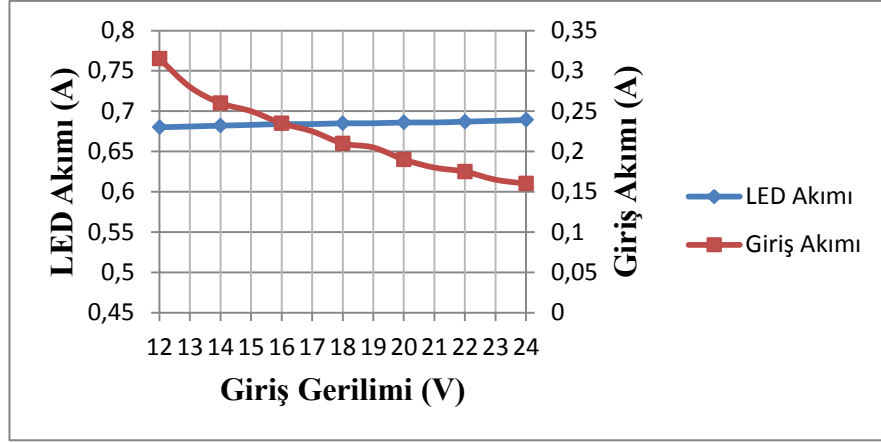
Şekil 2.30 LM3406 entegresi ile yapılan 3 Watt'lık LED sürücü devresinin verimliliğinin ve LED'in ileri yön geriliminin giriş gerilimine göre değişimi

Anılan devrede giriş gerilimine bağlı olarak; verimliliğin ve LED'in ileri yön geriliminin elde edilen değişimi Şekil 2.30'da verilmiştir. Verimliliğin, giriş gerilimi yükseldikçe düştüğü görülmektedir.



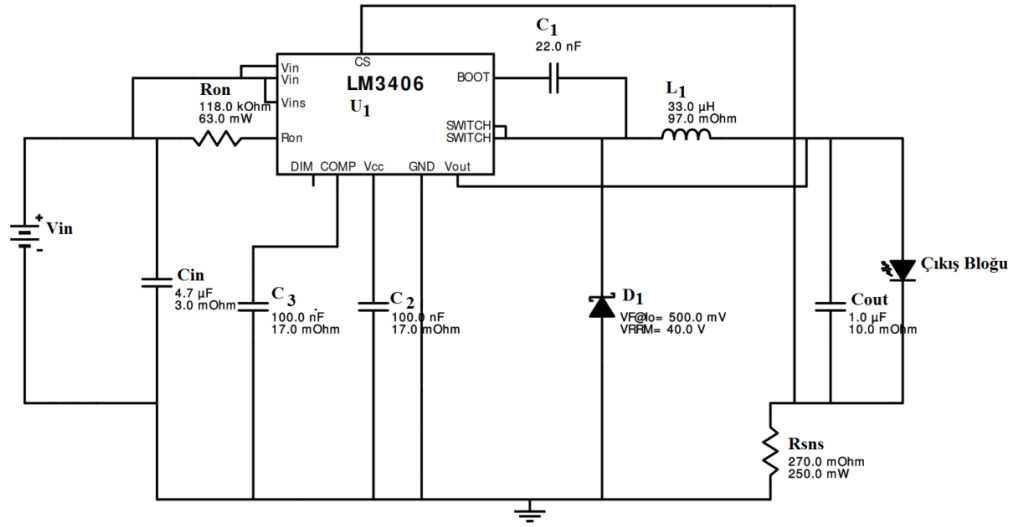
Şekil 2.31 LM3406 entegresi ile yapılan 3 Watt'lık LED sürücü devresinin çıkış gücünün, LED'in harcadığı gücün ve toplam kaybın giriş gerilimine göre değişimi

Şekil 2.31'de çıkış gücünün giriş gerilimine göre değişimi incelendiğinde çıkış gücünün 3,08 W değerinde sabit olduğu görülmektedir. Giriş geriliminin değişimine bağlı olarak 3 Watt'lık LED'in harcadığı güç ve toplam enerji kaybı Şekil 2.31'de verilmiştir.



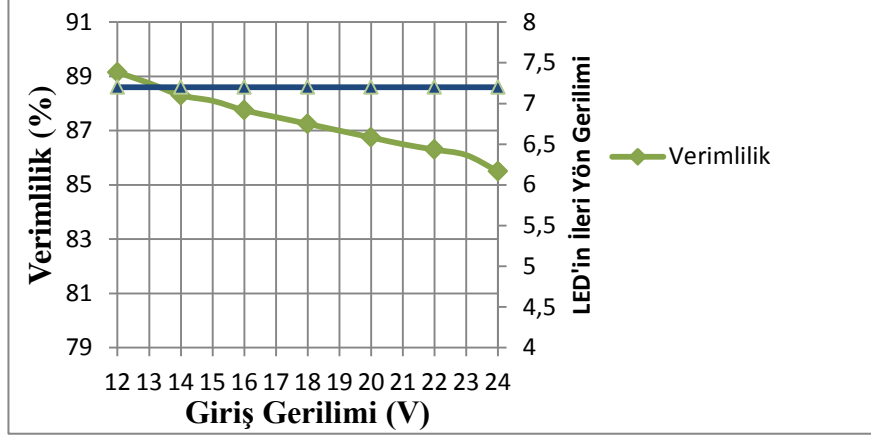
Şekil 2.32 LM3406 entegresi ile yapılan 3 Watt'lık LED sürücü devresinde LED'in giriş akımının ve LED akımının giriş gerilimine göre değişimi

3 Watt'lık LED sürücüsünün giriş akımının ve çıkış akımının giriş gerilimine göre değişimi Şekil 2.32'de verilmiştir. Ayrıca LED akımının yüksek olduğu değerlerde giriş geriliminin de yüksek olduğu görülmektedir.



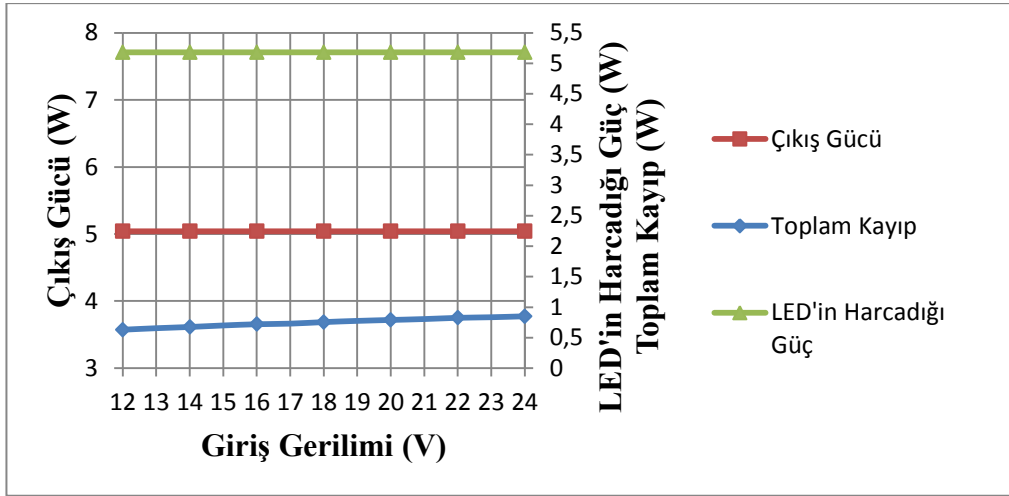
Şekil 2.33 LM3406 kullanılarak yapılan 5 W'lık LED sürücü devresi

LM3406 ile yapılan 5 W'lık LED sürücü devresinde ( Şekil 2.33) giriş gerilimi 12 V ile 24 V arasında değişirken 5 Watt LED sürücü için çıkış akımı 700 mA'dir. Bu devrenin verimliliğinin, çıkış gücünün, toplam kaybının, LED'in ileri yön geriliminin, LED'in kaybının, giriş akımının ve LED'in çıkış akımının değişimleri aşağıda verilmiştir.



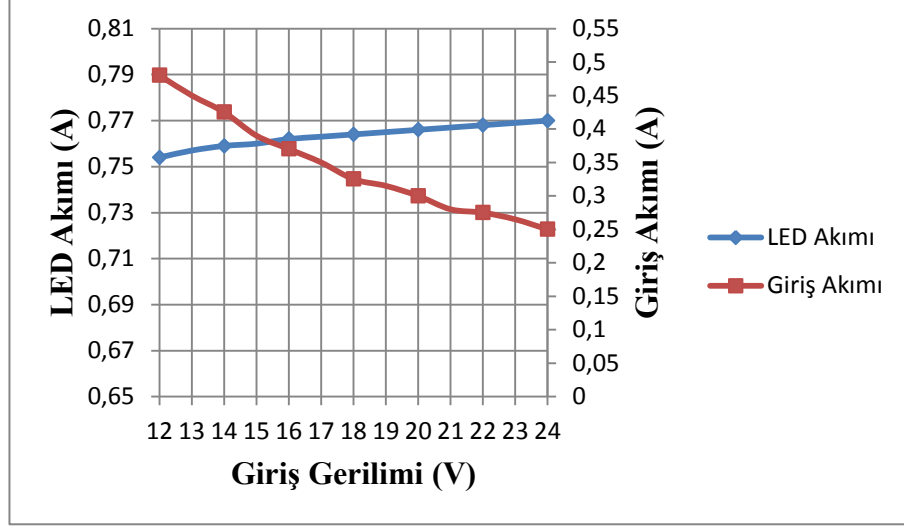
Şekil 2.34 LM3406 entegresi ile yapılan 5 Watt'lık LED sürücü devresinin verimliliğinin ve LED'in ileri yön geriliminin giriş gerilimine göre değişimi

Anılan devrenin verimliliğinin giriş gerilimine göre değişimi Şekil 2.34'te verilmiştir. Devrenin verimliliği, giriş gerilimi yükseldikçe düştüğü görülmektedir. Aynı zamanda giriş gerilimi değiştikçe LED'in ileri yön gerilimi değişmediği belirlenmiştir.



Şekil 2.35 LM3406 entegresi ile yapılan 5 Watt'lık LED sürücü devresinin çıkış gücünün, LED'in harcadığı gücünün ve toplam kaybın giriş gerilimine göre değişimi

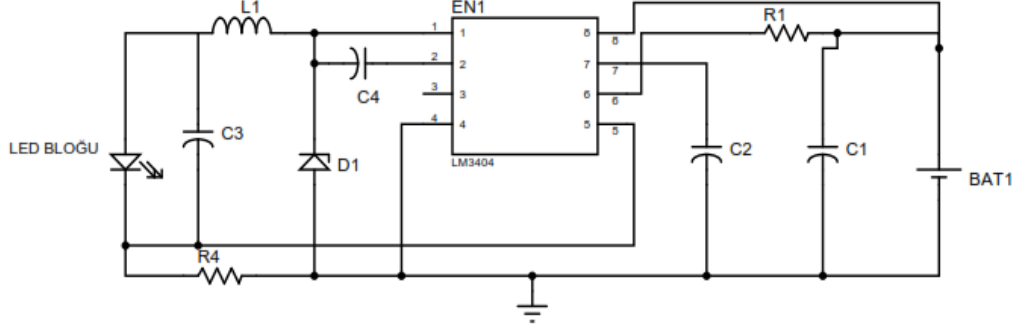
Bu devrenin çıkış gücünün giriş gerilimine göre değişimi incelendiğinde çıkış gücünün 5.04 W değerinde sabit olduğu Şekil 2.35'te görülmektedir. Giriş gerilimine bağlı olarak 5 Watt'lık LED'in harcadığı güç ve toplam kayıp anılan değişimlerde gösterilmektedir. LM3406 entegresi kullanılarak yapılan 5 Watt'lık LED sürücüsünün giriş akımının ve çıkış akımının giriş gerilimine göre değişimi Şekil 2.36'da verilmiştir.



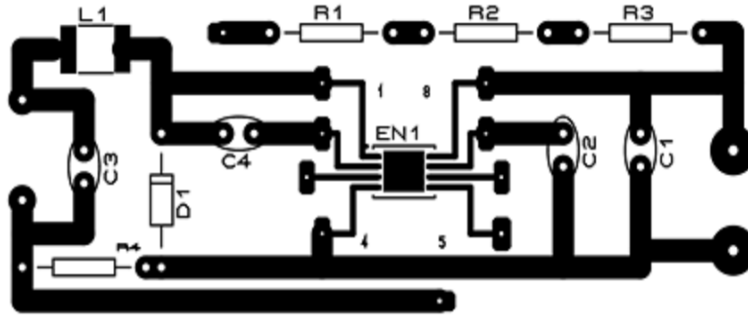
Şekil 2.36 LM3406 entegresi ile yapılan 5 Watt'lık LED sürücü devresinde LED'in giriş akımının ve LED akımının giriş gerilimine göre değişimi

### 3 BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1 Uygulama Çalışması



Şekil 3.1 5 Watt'lık akım sınırlamalı LED sürücü devresi



Şekil 3.2 5 Watt'lık akım sınırlamalı LED sürücü devresinin baskı devresi

LM3404 entegresi kullanılarak tasarlanan 5 W'lık DC DC dönüştürücü temelli akım sınırlamalı LED sürücü devresi ve baskı devresi Şekil 3.1 ve 2'de verilmiştir. Sürücü devresinin girişine farklı gerilim değerleri (12 - 36 V) vererek LED'in üzerinden geçen akımı, LED'in üzerine düşen gerilimi ve devrenin giriş akımı ölçülmüştür. Bu ölçümler sonucunda akım sınırlamalı LED sürücü devresinin çıkış gücü ve verimliliği hesaplanmıştır.

#### 3.2 Uygulama çalışmasının sonuçları

LM3404 entegresi kullanılarak 5 W'lık akım sınırlamalı LED sürücü devresi tasarlanmıştır. Tasarımı yapılan devrenin girişine 12 - 36V aralığında gerilim uygulanarak;

- LED sürücü devresinin giriş akımı,
- LED akımı,

- Çıkış gerilimi,
- Giriş gerilim değerleri ölçülmüştür.

Ayrıca tasarlanan devrenin ölçümleri sonucunda elde edilen veriler kullanılarak,

- Çıkış gücü,
- Devre verimliliği hesaplanmıştır. Ölçülen ve hesaplanan devre parametreleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Uygulama devrelerinin akım ve gerilimlerinin ölçülmesi sırasında GWINSTEK GDS1000 serisi osiloskop ve MT8145 masa tipi multimetre cihazı kullanılmıştır. Devreye uygulanan gerilim GWINSTEK GPC 3030D model DC güç kaynağı tarafından sağlanmıştır. Uygulama devresinde kullanılan GWINSTEK GDS1000 serisi osiloskop; 100 MHz bant genişliğine, 80,000 wfm/s dalga güncelleme oranına, çeşitli ölçüm seçimleri için 36 otomatik ölçüm fonksiyonuna, her kanalı için giriş kuplaj seçici (DC, AC, GND) özelliğine sahiptir. Ayrıca anılan osiloskop dikey oran değişim aralığı en az 1mV / div ile 10V / div arasında, dikey çözünürlüğü en az 9 bit ve zaman değişim aralığı ise en az 1ns / div ile 100s / div arasındadır. MT8145 masa tipi multimetre; DC/AC gerilim 0.1mV ile 1000V arasında, DC/AC akım 0.01µA ile 10A arasında, direnç 0.1Ω ile 50MΩ arasında, kapasite 1nF ile 10,000 µF arasında, frekans 0.0001Hz ile 40MHz arasında, sıcaklık -40 °C ile 400°C arası değerlerde ölçümler yapabilecek özelliklerine, bir butonla ekranda tutma ve yeni kararlı giriş olması halinde otomatik tutma özelliklerine, minimum değer, maksimum değer ve ortalama değer okuma hafızasına, manuel ve otomatik kademe moduna ve ölçümlerde %0.09 temel DC gerilim doğruluğuna ve %1 temel AC gerilim doğruluğuna sahiptir. GWINSTEK GPC 3030D model DC güç kaynağı; üç tane bağımsız birbirinden izoleli çıkışlara sahiptir. Cihazın iki kanalında gerilim değeri 0 ile 30 volt aralığında ayarlanabilir, akım değeri ise 0 ile 3 amper aralığında ayarlanabilir. Cihazın bir kanalı 5V sabit gerilim değerinde ve maksimum akım 3A değerindedir. Anılan cihazda otomatik seri paralel çalışma işlemi, çalışmayı izleme, yüksüz durumda çıkış gerilim ve akım değeri ayarlanabilme özellikleri mevcuttur.

**Çizelge 3.1** Uygulama çalışması sonuçları

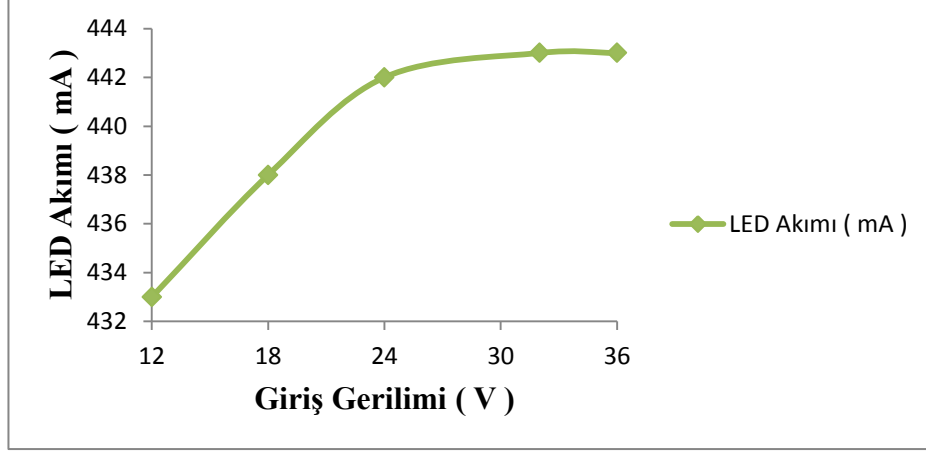
<b>Giriş Gerilimi (V)</b>	<b>LED Akımı (mA)</b>	<b>LED Sürücüsünün Giriş Akımı (mA)</b>	<b>Çıkış Gerilimi (V)</b>	<b>Çıkış Gücü (W)</b>	<b>Verimlilik (%)</b>
12	433	443	10,45	4,52	85,1
18	438	302	10,45	4,58	84,2
24	442	230	10,45	4,62	83,5
32	443	175	10,45	4,63	82,4
36	443	158	10,45	4,63	81,3

LM3404 entegresi kullanılarak yapılan 5 Watt'lık LED sürücüsünün giriş akımının giriş gerilimine göre değişim grafiği Şekil 3.3'te verilmiştir. LED akımıyla giriş gerilimi doğrusal olarak değişmemektedir. Değişimden de görüleceği üzere 22 V gerilim değerine kadar lineer olarak değişim görülmektedir. Giriş gerilimine 30 V ve üzeri bir gerilim uygulandığında üstel bir değişim devreye girmekte daha sonra LED akımı doyuma ulaşmaktadır. LED'lerin akım-gerilim karakteristiği, bir p-n jonksiyonunun I-V karakteristiğine benzemektedir.

I-V karakteristiği;

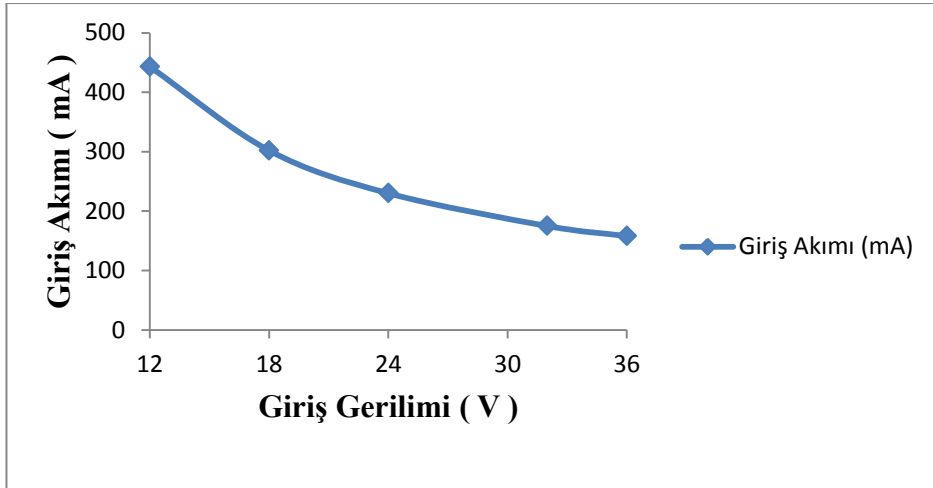
$$I = I_s \left( \exp \frac{eV}{\eta k T_j} - 1 \right) \quad (3.2.1)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Bu bağıntıda;  $I_s$  diyotun ters doyma akımını,  $k$  Boltzmann sabitini,  $\eta$  idealite faktörünü ve  $T_j$  Kelvin ölçeğinde jonksiyon sıcaklığını göstermektedir. LED akımıyla giriş gerilimi doğrusal olarak değişmemesi gerilimle akım arasındaki ilişkinin üssel olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.3 Giriş gerilimine göre LED akımının değişimi

LED sürücü devresinin giriş akımının giriş gerilimine göre değişimi Şekil 3.4'te verilmiştir. Giriş akımı giriş gerilimi arttıkça azaldığı görülmektedir.



Şekil 3.4 Giriş gerilimine göre sürücünün giriş akımının değişimi

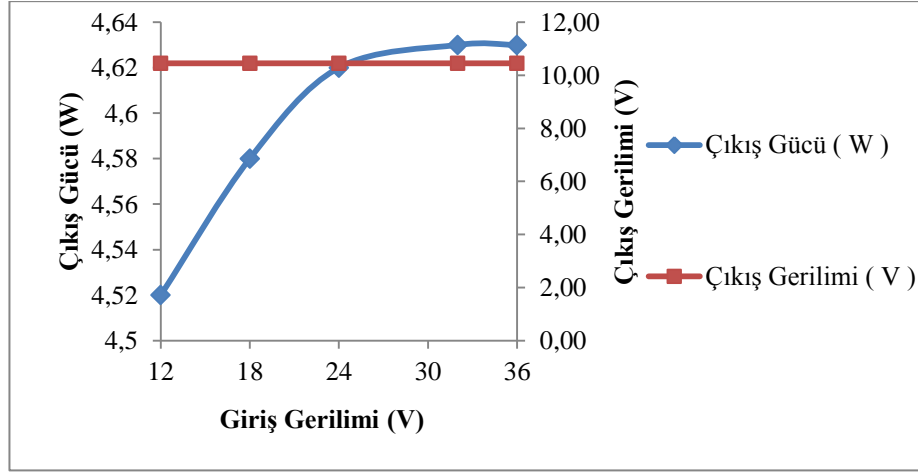
LED sürücü devresinin gücü,

$$P = I \cdot V_0 \quad (3.2.2)$$

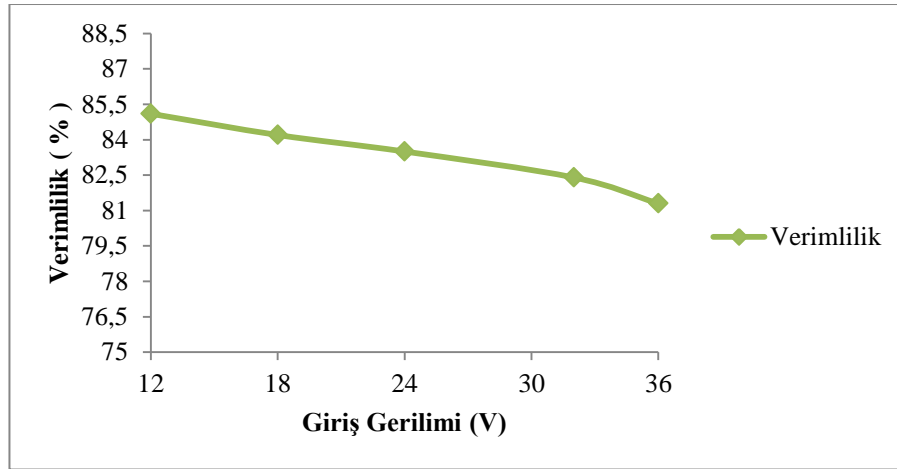
bağıntısıyla hesaplanır. Giriş gerilimi 12 V uygulandığında, ölçülen LED akımı  $I$  0,432 A ve çıkış gerilimi  $V_0$ , 10,45 V değerleri için, LED sürücü devresinin gücü 4,52 Watt olarak hesaplanmıştır. Aynı devre için giriş gerilimi 36 V olarak uygulandığında, ölçülen LED akımı  $I$  0,443 A ve çıkış gerilimi  $V_0$  10,45 V değerleri için, LED sürücü devresinin gücü 4,63 Watt olarak elde edilir.



LED sürücü devresinin çıkış gücünün ve geriliminin giriş gerilimine göre değişimi Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Giriş gerilimi yükseldikçe çıkış gücünün belli bir yere kadar arttığı, çıkış geriliminin ise giriş geriliminden bağımsız olup sabit olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.5 LED sürücü devresinin çıkış gücünün ve geriliminin giriş gerilimine göre değişimi



Şekil 3.6 Giriş gerilimine bağlı olarak verimliliğin değişimi

Kullanılan devrede giriş gerilimine bağlı olarak verimliliğin değişimi Şekil 3.6'da verilmiştir. Değişimin incelenmesinden verimlilik, 12 V giriş geriliminde % 81,5 iken 36 V giriş geriliminde % 81,3 olarak hesaplanabilir. Bu verilere göre verimliliğin; giriş gerilimiyle ters orantılı değiştiği gözlenmektedir. Buna göre uygulanan giriş gerilimi yükseldikçe devrenin verimi düşmektedir.

#### 4 SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında LED için gereken akımı sağlayan dirençlerle yapılan basit sürücü devresi, LM117 regülatörü ile yapılan LED sürücüsü devresi ve DC-DC düşürücü dönüştürücü temelli akım sınırlamalı LED sürücü devreleri incelenmiştir. Anılan bu devrelerin simülasyonları hazırlanarak performans değerleri gözlenmiştir. Uygulama bazında ise LM3404 entegresinin kullanıldığı DC-DC düşürücü dönüştürücü temelli 5 W'lık akım sınırlamalı LED sürücü devresi hazırlanmıştır.

1. Dirençlerle yapılan sürücü devresinin 1 Watt, 3 Watt ve 5 Watt olarak simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Giriş gerilimi olarak 12 V ve 24 V uygulandığında, devrenin çıkış akımı ölçülmüş verimliliği ve çıkış gücü hesaplanmıştır. 12 V giriş gerilimine sahip devrenin veriminin 24 V giriş gerilimine sahip devreden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Dirençlerle yapılan sürücü devresinde giriş gerilimi arttıkça devredeki kayıplarda arttığı gözlenmiştir.

2. LM117 regülatörü ile yapılan LED sürücü devresinin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Giriş gerilimi olarak 12 V ve 24 V uygulayarak devrenin çıkış akımı ve çıkış gerilimi ölçülmüştür. Ölçülen çıkış akımı ve gerilimine göre devrenin verimliliği ve çıkış gücü hesaplanmıştır. Giriş gerilimi yükseldikçe verimliliğin düştüğü kayıpların arttığı ve çıkış akımının değişmediği görülmektedir. Bu sürücüde kullanılan LM117'de devre iletimdeyken yaklaşık olarak 4,5 W kayıp olmaktadır. Bu da anılan sürücü devresinin verimini düşürmektedir.

3. DC-DC düşürücü (buck) dönüştürücü temelli akım sınırlamalı LED sürücü devrelerini 2 farklı entegre kullanarak 1 W, 3 W ve 5 W olarak tasarlanmış ve simülasyonları gerçekleştirilmiştir. DC-DC düşürücü (buck) dönüştürücü temelli akım sınırlamalı LED sürücü devresinin giriş akımı, LED akımı (çıkış akımı), LED'in ileri yön gerilimi, verimliliği, çıkış gücü, toplam kaybı ve LED'in harcadığı güç ölçülmüştür. Verimliliğin giriş gerilimi yükseldikçe düştüğü, giriş gerilimi değiştikçe LED'in ileri yön geriliminin de değişmediği görülmektedir. DC-DC düşürücü (buck) dönüştürücü temelli akım sınırlamalı LED sürücü devresinin çıkış gücünün giriş gerilimine göre değişimi incelendiğinde çıkış gücünün sabit olduğu görülmektedir. Giriş gerilimine

bağlı olarak LED'in harcadığı güç değişmemekle birlikte toplam kayıp artmaktadır. Giriş gerilimi yükseldikçe LED akımının da yükseldiği ve devrenin giriş akımı azaldığı görülmektedir. DC-DC düşürücü (buck) dönüştürücü temelli akım sınırlamalı LED sürücülerinin, bir dirençle yapılan basit sürücü devresinden ve LM117 regülatör ile yapılan LED sürücüsü devresinden daha verimli olduğu belirlenmiştir.

4. Simülasyonlarını yapılan devrelerin verimlilikleri, kayıpları ve akım değerleri simülasyon sonuçlarına bakılarak karşılaştırıldığında 5 W'lık LED sürücü devrelerinin daha verimli olduğu 5 tane 1 W'lık sürücü yerine 1 tane 5 W'lık sürücü kullanmanın daha verimli olduğu nümerik ölçüm değerlerinden anlaşılmaktadır.

Simülasyonu yapılan devrelerden LM3404 entegresi kullanılarak 5 W'lık LED sürücü devresinin uygulaması yapılmıştır. Bu devrenin baskı devresi yapılarak devre oluşturulmuştur. Uygulanan LED sürücü devresinin LED akımı, sürücünün giriş akımı, çıkış gücü, çıkış gerilimi ve devrenin verimliliği ölçülmüş ve hesaplanmıştır. Uygulaması yapılan DC-DC düşürücü (buck) dönüştürücü temelli akım sınırlamalı LED sürücü devresinde iki ana sonuç unsuru gözlemlenmiştir. Birincisi, giriş gerilimi yükseldikçe LED akımının da yükseldiği ve giriş akımının azaldığı görülmektedir. Bununla birlikte giriş gerilimi yükselmesi sonucu çıkış gücünün belli bir yere kadar arttığı, çıkış geriliminin ise giriş geriliminden bağımsız olup sabit olduğu belirlenmiştir. İkinci ise, uygulama devresinin verimliliğinin giriş geriliminin yükselmesi sonucu düşmesidir.

Uygulaması yapılan devrenin ölçüm sonuçları ile simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Bahse konu verimlilik değerleri enerji optimizasyonu yönünden elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile simülasyonu yapılan devrenin sonuçları karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları ile deney sonuçlarının tutarlı olduğu gözlenmiştir.

## 5. KAYNAKLAR

- [1] TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Enerji Verimliliği Raporu, Ocak 2012. [http://www.emo.org.tr/ekler/db99a0f7088b168\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/db99a0f7088b168_ek.pdf). ( Erişim tarihi: Nisan 2015)
- [2] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Kamuda Verimli Aydınlatmaya Geçiş, Ocak 2009. [http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FBelge%2FKVAG\\_Raporu.pdf](http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FBelge%2FKVAG_Raporu.pdf). ( Erişim tarihi:14 Mart 2015)
- [3] S. İSKENDER, Elektrik Mühendisleri Odası, 17 Ekim 2006. [http://www.emo.org.tr/genel/bizden\\_detay.php?kod=50101#.VhdphyuAlus](http://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=50101#.VhdphyuAlus). ( Erişim tarihi:Nisan 2015)
- [4] Akedaş Elektrik Dağıtım A.Ş, Akedaş Elektrik Dağıtım, Ocak 2011. [http://www.akedasdagitim.com.tr/Enerji\\_Verimlilik](http://www.akedasdagitim.com.tr/Enerji_Verimlilik). ( Erişim tarihi: 28 Nisan 2015)
- [5] Y. ONHO, Color rendering and luminous efficacy of white LED spectra, Proceedings of SPIE, no. 5530, pp. 89-98, 2004.
- [6] Işık Tekniği ile ilgili Bilgiler, Elektrik Mühendisliği Odası, [http://www.emo.org.tr/ekler/003784963c3d104\\_ek.pdf?tipi=34&turu=....](http://www.emo.org.tr/ekler/003784963c3d104_ek.pdf?tipi=34&turu=....) ( Erişim tarihi: Nisan 2014)
- [7] B. P. ve P. Raynham, The SLL Lighting Handbook, 2009.
- [8] T. E. M. Odası, Enerji Verimliliği Raporu, Ankara, 2012.
- [9] M. Ju ve S. Xiao, Design Principles and Applications of a novel Electromagnetic Spectrum Table, IEEE, 2013.
- [10] B. Karcıoğlu, Endüstriyel Tesis Aydınlatması, İstanbul: Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
- [11] A. Akbulut, Tünel Aydınlatması, İstanbul: Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [12] Aydınlatma ile İlgili Temel Bilgiler, <http://www.lamp83.com.tr/teknik-bilgiler/29/temel-bilgiler/>. ( Erişim tarihi: Mayıs2014)
- [13] Aydınlatma, <http://www.lisefizik.com/lise1/enlightment.htm> . ( Erişim tarihi: Mayıs 2014)
- [14] S. Onaygil, Aydınlatma Aygıt Tasarımı Temel İlkeleri Dersi, [https://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CCcQFjAC&url=http%3A%2F%2Fweb.itu.edu.tr%2F~onaygil%2Feut339%2Ffisk\\_fotometrik\\_buyuklukler.doc&ei=IWE9VL6-AaimyPi9IHgBA&usq=AFQjCNFiaIaZK0pQTeHrwMjK0sTXkbbkI6g&bvm=bv.77161500,bs.1,d.](https://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CCcQFjAC&url=http%3A%2F%2Fweb.itu.edu.tr%2F~onaygil%2Feut339%2Ffisk_fotometrik_buyuklukler.doc&ei=IWE9VL6-AaimyPi9IHgBA&usq=AFQjCNFiaIaZK0pQTeHrwMjK0sTXkbbkI6g&bvm=bv.77161500,bs.1,d.) ( Erişim tarihi: Mayıs 2014)
- [15] Etkinlik Faktörü Nedir?, <http://www.aydinlatmatasarim.com/makaleler/isik-verimi-nedir.php>. ( Erişim tarihi:Haziran 2011)
- [16] S. Erdem, Aydınlatma Mühendisliğinde İleri Yöntemlerle Çözüm Teknikleri, Ankara: Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, FeEn Bilimleri Enstitüsü, 2007.

- [17] LED History, [http://www.abctronics.com/media/abcT\\_The\\_LED\\_History.pdf](http://www.abctronics.com/media/abcT_The_LED_History.pdf). ( Erişim tarihi: Kasım 2013)
- [18] S. Kasap, pn Junction Devices and Light Emitting Diodes, pn Junction Devices, Canada, 2001, pp. 1-34.
- [19] R. D. Dupuis ve M. R. Krames, History, Development and Applications of High-Brightness Visible Light-Emitting Diodes, Journal of Light wave Technology, no. 26, pp. 1154-1171, 2008.
- [20] A brief history of LED, <http://www.trgcomponents.co.uk/trggb/internet/Template.aspx?PageID=4545>. ( Erişim tarihi:Kasım 2014)
- [21] A. Almeida, B. Santos, B. Paolo ve M. Quicheron, Solid state lighting review – Potential and challenges in Europe, Renewable and Sustainable Energy Reviews, no. 34, pp. 30-48, 2014.
- [22] <http://flood-light-led.com/led-history-and-development.html>. ( Erişim tarihi:Mayıs 2014)
- [23] C. Richardson, LED Applications and Driving Techniques, National Semiconductor Corporation, 2007. [http://educyclopedia.karadimov.info/library/national\\_LED\\_seminar.pdf](http://educyclopedia.karadimov.info/library/national_LED_seminar.pdf). ( Erişim tarihi:Haziran 2014)
- [24] X. Perpifiai, R. J. Werkhoven, M. Vellvehi, X. Jordai, J. M. Kunen, J. Jakovenk, P. Bancken ve P. Bolt, LED Driver Thermal Design Considerations for SolidState, IEEE, 2012.
- [25] M. Arik, J. Petrosk ve S. Weavery, Thermal Challenges In The Future Generation Solid State Lighting Applications, IEEE, 2002.
- [26] H. Nasibov, E. Balaban, A. Kholmatov ve A. Nasibov, High-brightness, high-power LED-based strobe illumination for double-frame micro particle image velocimetry, Flow Measurement and Instrumentation, cilt 37, pp. 12-28, 2014.
- [27] M. P. S., High Power White LED Technology for Solid State Lighting <http://www.ele.uva.es/~pedro/optoele/LEDs/LEDilumination.pdf> . ( Erişim tarihi:Temmuz 2014)
- [28] S. Winder, Power Supplies for LED Driving, Burlington, 2008.
- [29] G. Held, Introduction to Light Emitting Diode Technology and Applications, Boca Raton, 2009.
- [30] N. Narendran ve Y. Gu, Life of LED-Based White Light Sources, IEEE/Osa Journal Of Display Technology, cilt 1, no. 1, 2005.
- [31] <http://www.digikey.com/en-US/articles/techzone/2012/jul/characterizing-and-minimizing-led-flicker-in-lighting-applications>, ( Erişim tarihi: Aralık 2014)
- [32] M. Akbulut ve Ö. Gül, LED’li Işık Kaynaklarının Karakteristiklerini Belirlemeye Yönelik Ölçümler, [www.emo.org.tr/ekler/bc16e31fe69c6\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/bc16e31fe69c6_ek.pdf). ( Erişim tarihi:Temmuz 2014)
- [33] W. M. L. D.-G. C. P. ., J. Rodrigues, Comparative Analysis of Power LEDs

- Dimming Methods, IEEE, 2011.
- [34] LED IŞIK KAYNAKLARI, [http://www.emo.org.tr/ekler/956c5080dc82dda\\_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=](http://www.emo.org.tr/ekler/956c5080dc82dda_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=).( Erişim tarihi:Ocak 2015)
- [35] J. Howell ve H. Schroeder, History Of The Incandescent Lamp,, New York: Schenectady, 1927.
- [36] R. S. Simpson, Lamps, Lighting Control: Technology and Applications, Burlington, 2003, pp. 112-249.
- [37] L. Halonen, Lighting technologies, Annex 45 Guidebook on Energy Efficient Electric Lighting for Buildings, Aalto, 2010, pp. 93-105.
- [38] B. Fitt ve J. Thornley, Lighting technology: a guide for television, film, and theatre, 2002.
- [39] Edison Tech Center, <http://www.edisontechcenter.org/SodiumLamps.html>. ( Erişim tarihi: Ocak 2015)
- [40] A. Martín, N. Bordel, C. Blanco, J. Antón ve G. Zissis, Comparison of the Emission of a High-Pressure Sodium Lamp Working at 50 Hz and at High Frequency, IEEE, pp. 93-9994, 2010.
- [41] J. Vrugt ve J. Verwimp, High pressure mercury vapour lamps, IEEPROC, cilt 3, no. 127, 1980.
- [42] S. Kaya, Enerji Verimliliğinde; Aydınlatmada Kullanılan Lamba Seçiminin Önemi, 2014.: [http://www.emo.org.tr/ekler/1afdb12a5ec4a6b\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/1afdb12a5ec4a6b_ek.pdf).. (Erişim tarihi: Nisan 2015)
- [43] G. WILSON, E. DAMANT ve J. WALDRAM, The High Pressure Mercury-Vapour Lamp In Public Lighting, I.E.E. Journal, cilt 73, no. 477, 1936.
- [44] C. Colglazier, An Investigation of an Alternative High Efficiency Lighting Solution for Naval Use, 2007.
- [45] J. Whitfield, Electrical Craft Principles, 2009, pp. 337-381.
- [46] H. Bodur, Güç Elektroniği, İstanbul, 2010.
- [47] H. Yu, A Novel Control Strategy of Output Voltage Ripple Reduction in Buck Converters, IEEE, 2011.
- [48] S. Kasat, Analysis, Design and Modeling of DC-DC Converter using Simulink, Oklahoma, 2004.
- [49] J. Rong, Y. Ding, M. Zhang ve X. Chen, Modeling and Simulation of Boost Hard Switching Converter in Power Factor Correction Circuit, IEEE, 2013.
- [50] S. Dericci, DC/DC Konvertörler, Ankara, 2000.
- [51] M. Rashid, Power Electronics Handbook Devices, Circuits,and Application, Elsilver, 2014.
- [52] M. Shadmand ve A. Shirkhani, Design and performance comparison of LQR Nonzero Set Point, Sliding Mode, andCurrent Mode digital controllers for Cuk

converter, IEEE, pp. 1-6, 2013.

- [53] LM3404 Datasheet, <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3404.pdf>. ( Erişim tarihi: Nisan 2015).
- [54] LM3406 Datasheet, <http://www.ti.com/lit/ds/snvs512e/snvs512e.pdf>. ( Erişim tarihi:Nisan 2015)
- [55] K. O. oban, Aydınlatma Elemanlarının Verimliliği Ve Enerji Kalitesi Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Ankara: Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak 2014.
- [56] E. Giray, Dinamik Aydınlatma ve Uygulaması, İstanbul: Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [57] J. Paladugu, Effect of Mechanical Vibrations on Light Emitting Diode Luminaires, 2007.
- [58] Z. Staff, The Lighting Handbook, 2004.
- [59] E. Özek, Optoelektronik, Ankara, 1995.

**EK-1**  
**ÖZGEÇMİŞ**

**1. GENEL**

<b>T.C. KİMLİK NO</b>	: 19394878324		
<b>ADI SOYADI</b>	: Habip Yusuf HASIRCI		
<b>YAZIŞMA ADRESİ</b>	: Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 79000, Kilis- Türkiye		
<b>DOĞUM TARİHİ ve YERİ</b>	: 09.01.1989 /Kilis		
<b>TEL:</b>	0348 8142666/1837		
<b>E-POSTA:</b>	hyusufhasirci@kilis.edu.tr	<b>FAKS:</b>	

**2. EĞİTİM** (Son aldığımız dereceden / diplomadan başlayarak yazınız)

<b>Öğrenim Dönemi</b>	<b>Derece (*)</b>	<b>Üniversite</b>	<b>Öğrenim Alanı</b>
2007-2012	Lisans	Çukurova Üniversitesi	Elektrik Elektronik Mühendisliği
2012-2014	Yüksek Lisans	Çukurova Üniversitesi	Elektrik Elektronik Mühendisliği
2014-	Yüksek Lisans	Kilis 7 Aralık Üniversitesi	Elektrik Elektronik Mühendisliği

(\*) Diploma Türü (Lisans, Y.Lisans, vb.)

**3. AKADEMİK ve MESLEKİ DENEYİM**

<b>Görev Dönemi</b>	<b>Ünvan</b>	<b>Üniversite</b>	<b>Bölüm</b>
2013-	Arş. Gör.	Kilis 7 Aralık Üniversitesi	Elektrik Elektronik Mühendisliği

**4. YAYIN BİLGİLERİ**

ISI indexine kayıtlı dergilerde yayınlanan	1
Diğer indexlere kayıtlı / Hakemli dergilerde yayınlanan	3
Indexlere kayıtlı / Hakemli konferans kitaplarında yayınlanan	-
Diğer yayınlar	4
<b>TOPLAM</b>	<b>8</b>

**5. YAYINLARINIZA ALDIĞINIZ TOPLAM ATIF SAYISI:**

**6. PROJE DENEYİMİ**

<b>Yer Aldığınız Proje Sayısı</b>	<b>Proje yürütücüsü olarak</b>	<b>Araştırmacı olarak</b>
Kurumsal (BAP vb.)		3
Ulusal		
Uluslararası		



## 7. DİĞER AKADEMİK FAALİYETLER ( Hakemlik/Danışmanlık/Editörlük Deneyimi)

Son bir yılda uluslararası indekslere kayıtlı makale/derleme için yaptığınız danışmanlık sayısı			
Son bir yılda projeler için yaptığınız danışmanlık sayısı			
Danışmanlığını yaptığınız öğrenci sayısı		Tamamlanan	Devam Eden
	Y.Lisans		
	Doktora		
	Uzmanlık		
Editör/Yardımcı Editör olduğunuz dergiler			

## 8. BİLİMSEL YAYINLAR\* (ISI kapsamında)

1	Farsakoğlu O. F., Hasırcı H. Y. “Energy optimization of low power LED drivers in indoor lighting” Journal Of Optoelectronics And Advanced Materials Vol. 17, No. 5-6, May – June 2015, p. 816 - 821
2	

ISI: International Science Index (SCI-Expanded, SSCI ve AHIC kapsamında)

\* Yazarlar, Makale, Dergi, Cilt-sayı-sayfa, yıl sırasında yazılacak.

## 9. BİLİMSEL YAYINLAR\* (ISI haricinde)

1	Farsakoğlu O. F., Hasırcı H. Y., Atik İ., Çelik I.”Energy Optimization of the Current-Limiting Power LED Drivers in Various Powers”, GAU Journal of Social and Applied Sciences, Vol. 7, 2015, p. 122-132
2	Farsakoğlu O. F., Çelik I., Atik İ., Hasırcı Y. H., “Determination Power Correction Parameters of Buck and Buck Boost LED drivers for LED lighting”, GAU Journal of Social and Applied Sciences, Vol. 7, 2015, p. 133-144
3	Ö. Faruk FARSAKOĞLU, H. Yusuf HASIRCI, İpek ATİK, İbrahim ÇELİK, “LED Ve Geleneksel Aydınlatma Sistemlerinin Çevre Üzerindeki Etkileri ve Enerji Verimliliğinin Belirlenmesi” UHMFD, Ocak / Şubat / Mart-Nisan Kış Bahar Dönemi Cilt: 2 Sayı: 3 Yıl: 2015

\* Yazarlar, Makale, Dergi, Cilt-sayı-sayfa, yıl sırasında yazılacak.

## 10. DİĞER BİLİMSEL AKTİVİTELER\* (KONGRE, SEMPOZYUM, SEMİNER, KONFERANS)

\*Yazarlar, Bildiri başlığı, Toplantı adı, Cilt-sayı-sayfa, yıl sırasında yazılacak.

1.	Farsakoğlu O. F., Hasırcı H. Y., Çelik I.”10 W DC-DC Converter Based LED Driver Circuit Design”, 4th International Conference on Computer Science and Communication Engineering, Albania, Durris, November 6-7, 2015
2.	Farsakoğlu O. F., Atik İ., H.Y. Hasırcı, “Effects of LED lighting systems for reducing the environmental pollution” International Environmental Sciences Symposium of Van (IESSV), Turkey, Van, June 4 -7 2014

3.	Farsakoğlu O. F., Hasırcı H. Y., Atık İ., Çelik I.”Energy Optimization of the Current-Limiting Power LED Drivers in Various Powers”, Second International Symposium on Engineering Artificial Intelligence& Applications, Cyprus, 4-7 November, 2014
4.	Farsakoğlu O. F., Çelik I., Atık İ., Hasırcı Y. H., “Determination Power Correction Parameters of Buck and Buck Boost LED drivers for LED lighting”, Second International Symposium on Engineering Artificial Intelligence& Applications, Cyprus, 4-7 November, 2014