

# AKIM REGÜLELİ LED TEST CİHAZI TASARIMI

## CURRENT REGULATED LED TESTER DESIGN

Yavuz EROL

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Fırat Üniversitesi  
yerol@firat.edu.tr

### Özet

Bu çalışmada LED'lerin sabit akımda test edilmesini sağlayan çeşitli devre tasarımları verilmiş ve karşılaştırma yoluyla en kullanışlı olan devre modelinin belirlenmesi sağlanmıştır. Gerçekleştirilen tasarım sayesinde aynı anda çok sayıda LED'in ışık rengi, ışık şiddeti ve ışınma açısı tespit edilerek kıyaslanabilmektedir. Ayrıca test sırasında 20 mA sabit akımda LED'in ileri yön gerilimini ölçmek mümkün olmaktadır. Önerilen tasarım ile yuvarlak, oval ve mantar tipte LED'lerin test işlemi kolayca yapılabilmekte ve LED'li uygulama geliştirme sürecinde zamandan tasarruf sağlanmaktadır.

### Abstract

In this study, several circuit designs which provide testing LEDs with constant current were given and it was provided that the circuit model that is most useful were determined by comparison. With the implemented design, a large number of LED's light color, light intensity and radiation angle can be detected and compared, simultaneously. Also during the test, it is possible to measure LED forward voltage at 20 mA constant current. With the proposed design, the test process of round, oval and helmet type of LEDs can be easily done and it provides saving time during LED application development process.

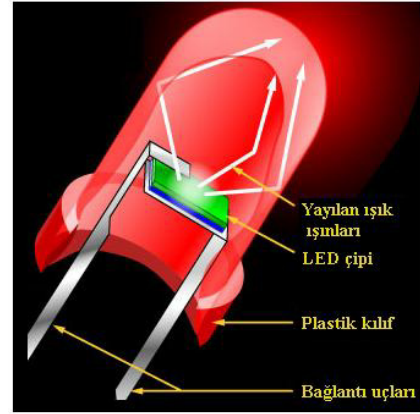
### 1. Giriş

LED üreten firmalar kataloglarında LED'e ait pek çok elektriksel ve optik parametreye yer verir. İleri yön gerilimi, ileri yön akımı, ışık şiddeti, dalga boyu ve ışınma açısı bu parametrelerin en önemlileri arasında yer alır. Piyasadaki LED çeşidinin çok fazla olması, gerçekleştirilecek projeye uygun LED seçimini önemli bir konu haline getirmektedir. Uygulamalarda LED'in ışık rengini, ışık şiddetini ve ışınma açısını tasarım aşamasında seçmek gerektiğinden uygun bir test cihazına ihtiyaç duyulur. Bu tür bir test cihazı ile LED'e ait optik parametreler kolayca tespit edilebilir. Bu çalışmada, aynı anda 10 LED'i test edebilen yüksek performanslı ve düşük maliyetli bir test cihazı tasarımı verilmiştir.

#### 1.1. LED'in Yapısı

Işık yayan diyot olarak adlandırılan LED elektrik enerjisini ışığa dönüştüren yarı iletken devre elemanıdır. LED'in en önemli kısmını yarı iletken malzemeden oluşan ve ışık yayan LED çipi oluşturur. LED çipi noktasal bir ışık kaynağıdır ve kılıf içine yerleştirilmiş yansıtıcı eleman

sayesinde ışığın belirli bir yöne doğru yayılması sağlanır. Şekil 1'de LED'in iç yapısı görülmektedir [1].



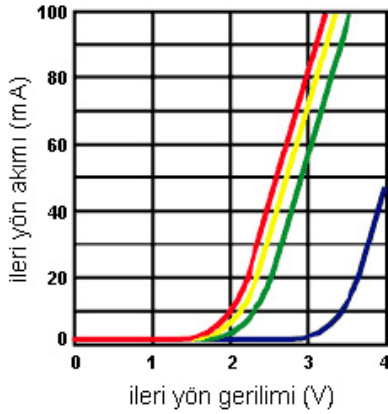
Şekil 1: LED'in iç yapısı

LED'in ışık yayma mekanizması kuantum fiziği yasalarına dayanır. P-N jonksiyonundan akım geçtiğinde ortama spektrumun görünür ışık bölgesine denk düşen frekansta ışık yayılır. Bununla birlikte gözle görülemeyen frekansta ışık yayan kızılötesi (infrared,IR) veya morötesi (ultraviole,UV) LED'ler de vardır. LED'in yaydığı ışık, çip içerisindeki yarı iletken katkı maddeleri ile ilgilidir. Galyum, arsenit, alüminyum, fosfat, indiyum, nitrit gibi kimyasal malzemelerden uygun oranda yarı iletken malzemeye katkı yapılması ile farklı renkte ışık yayılması sağlanır [2]. GaAlAs katkılı LED kırmızı, InGaAlP katkılı LED sarı, GaN katkılı LED ise mavi renkte ışınma yapar. Katkı malzemesinin türüne göre ana rengin tonunu ayarlamak da mümkün olmaktadır. Örneğin InGaAlP katkılı LED 640 nm dalga boyunda kırmızı ışık; GaAlAs katkılı LED 660 nm dalga boyunda kırmızı ışık; GaP katkılı LED ise 700 nm dalga boyunda kırmızı ışık yayar [3]. Işığın tonundaki farkı ayırt edebilmek için bir test cihazı ile LED'lerin karşılaştırılması gereklidir.

#### 1.2. LED Parametreleri

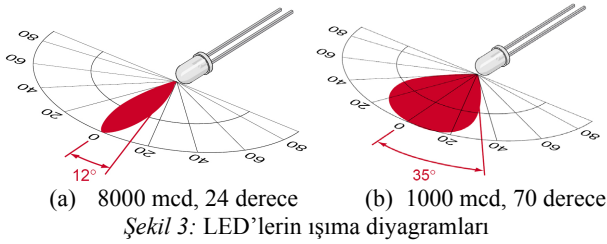
LED'den 20 mA akım geçerken LED'in uçlarındaki gerilim değeri ileri yön gerilimi ( $V_f$ ) olarak bilinir ve bu değer LED'in rengine göre farklılık gösterir. Kırmızı, sarı ve yeşil renkli LED'ler için  $V_f$  gerilimi yaklaşık 1.8-2.2 Volt iken, beyaz ve mavi renkli LED'ler için 3.5 Volt civarındadır. Şekil 2'de farklı renkli LED'ler için ileri yön geriliminin akıma bağlı değişimi verilmiştir [4]. Akımın 20 mA'den farklı olması LED'in ışık şiddetini önemli ölçüde artırır ya da

azaltır. Bu nedenle test akımının yaklaşık 20 mA olması gereklidir.



Şekil 2: İleri yön geriliminin akıma bağlı değişimi

LED'lerin ışık şiddetlerinin ve ısıma açılarının kıyaslanabilmesi için test işleminin sabit akımda yapılması gereklidir [5]. Bir LED'in ısıma açısının kaç derece olduğu, gerçekleştirilecek uygulama için büyük önem arz eder. Örneğin 5 mm çaplı iki LED'den hangisinin uygun özelliklerde olduğuna test işlemi sonucunda karar verilir. Böylece ışık şiddetleri ve ısıma açıları arasındaki fark kolayca ayırt edilebilir. Şekil 3a'da ışık şiddeti 8000 mcd, ısıma açısı 24 derece; şekil 3b'de ise ışık şiddeti 1000 mcd, ısıma açısı 70 derece olan 5 mm çaplı LED görülmektedir.

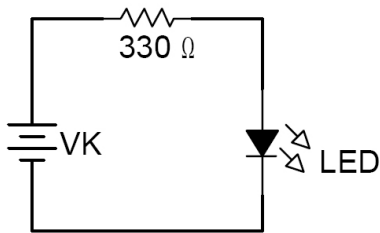


(a) 8000 mcd, 24 derece (b) 1000 mcd, 70 derece  
Şekil 3: LED'lerin ısıma diyagramları

Dar açılı LED'in ışık şiddetinin geniş açılı olana göre 8 kat fazla olması nedeniyle şekil 3a'daki LED göz tarafından çok daha parlak algılanacaktır. Fakat LED'lerin ürettikleri ışık akısı hesaplandığında aralarında büyük fark olmadığı ve 1 lümenlik ışık akısına sahip oldukları görülür. LED test cihazı ile yapılacak bu tür bir test sonucunda hatalı LED seçimi önlenmiş olur.

## 2. Tasarım

Bir LED'i test etmenin en basit yolu şekil 4'de görülmektedir. Devrede bir doğru gerilim kaynağı ve akımı sınırlandırmak üzere bir direnç bulunmaktadır.



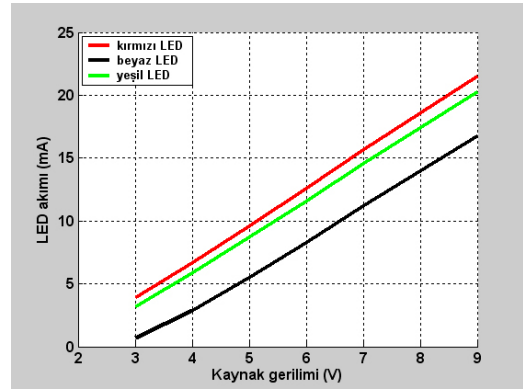
Şekil 4: Seri dirençli test devresi

Farklı renkte LED'leri test ederken akımın nasıl değiştiğini gözleyebilmek için birkaç ölçüm yapılmıştır. Ölçüm sırasında, kaynak gerilimi 9 V'dan 3 V'a kadar adım adım düşürülmüş ve LED'den geçen akım değeri kaydedilmiştir. Tablo 1'de kırmızı, yeşil ve beyaz LED için test sonuçları görülmektedir. Test sırasında kullanılan 5 mm çaplı LED'lerin ileri yön gerilimleri kırmızı LED için 1.76 V, yeşil LED için 2.18 V ve beyaz LED için 3.44 V'dur.

Tablo 1: Seri dirençli devre için LED akımları

| VK (Volt) | LED akımı (mA) |       |       |
|-----------|----------------|-------|-------|
|           | Kırmızı        | Yeşil | Beyaz |
| 9         | 21.5           | 20.3  | 16.8  |
| 8         | 18.6           | 17.4  | 14.0  |
| 7         | 15.7           | 14.6  | 11.2  |
| 6         | 12.6           | 11.6  | 8.3   |
| 5         | 9.6            | 8.7   | 5.5   |
| 4         | 6.7            | 5.9   | 2.9   |
| 3         | 3.9            | 3.2   | 0.7   |

Tablo 1'deki değerler kullanılarak kaynak gerilimine bağlı olarak LED akımlarının değişimi çizdirilmiş ve şekil 5'deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 5: Akım-gerilim eğrisi

Akım-gerilim eğrisinden görüldüğü gibi bu devre LED test cihazı olarak kullanılabilecek yeterlilikte değildir. Çünkü akım değeri LED'in rengine göre önemli ölçüde değişmekte ve kaynak gerilimi düştükçe LED'lerden geçen akım çok fazla değişmektedir.

Yüksek performanslı bir LED test cihazı gerçekleştirmek için LED'den 20 mA'lık sabit bir akım geçirilmesi ve çok sayıda LED'i test edebilmek için çok kanallı bir akım kaynağı yapısı gerekmektedir [5]. Ayrıca tasarımda aşağıdaki kriterler de dikkate alınmalıdır.

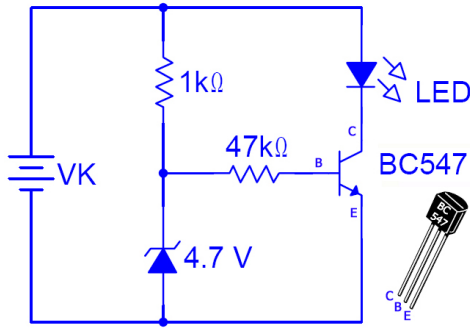
- Akım değeri besleme geriliminden etkilenmemeli
- Her bir LED'den aynı akım geçmeli
- Aynı anda çok sayıda LED test edilebilmeli
- Devredeki eleman sayısı az olmalı
- Düşük maliyetli bir çözüm sunmalı

Bu şartları sağlamak üzere çeşitli tasarım örnekleri aşağıda verilmiştir.

### 2.1. Zener Diyotlu Akım Kaynağı

Şekil 6'daki devrede bir zener diyot ve NPN transistör bulunmaktadır. Zener diyot uçlarındaki gerilim, zener diyottan

geçen akımından pek etkilenmez. Bu sayede devre sabit akım kaynağı olarak çalışır.



Şekil 6: Zener diyotlu devre

LED'den geçen akım denklem 1'e göre belirlenir.

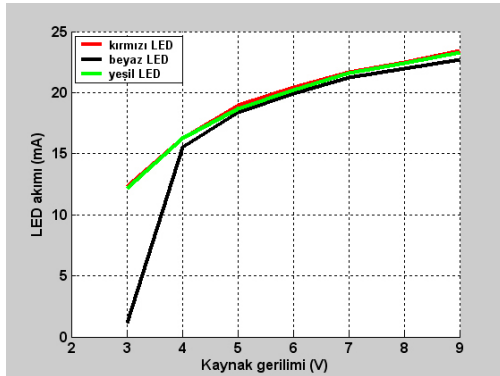
$$I_{LED} = (1 + \beta) \left( \frac{V_z - V_{BE}}{R_B} \right) \quad (1)$$

Kaynak geriliminin 9 V'dan 3 V'a kadar azaltılması durumunda LED akımlarının nasıl değiştiği tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2: Zener'li devre için LED akımları

| VK (Volt) | LED akımı (mA) |       |       |
|-----------|----------------|-------|-------|
|           | Kırmızı        | Yeşil | Beyaz |
| 9         | 23.4           | 23.3  | 22.7  |
| 8         | 22.5           | 22.4  | 22.0  |
| 7         | 21.7           | 21.6  | 21.2  |
| 6         | 20.4           | 20.2  | 19.9  |
| 5         | 19.0           | 18.7  | 18.4  |
| 4         | 16.3           | 16.3  | 15.5  |
| 3         | 12.3           | 12.2  | 1.1   |

Tablodaki değerlere göre çizilen akım-gerilim eğrisi şekil 7'de görülmektedir.

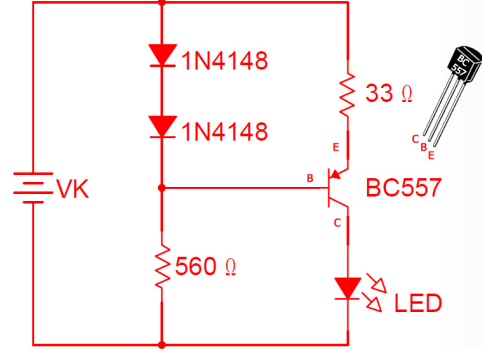


Şekil 7: Akım-gerilim eğrisi

3 farklı LED için elde edilen sonuçlar yorumlanırsa, devrenin oldukça iyi çalıştığı söylenebilir. Kaynak gerilimi 5 V'a düşünceye kadar LED akımlarında birkaç mA'lık değişim görülmektedir. Akım değerinin transistörün beta değerine bağlı olması ve 5 V'un altında akımın hızla düşmesi devrenin olumsuz taraflarıdır. Ayrıca 10 LED'i test edebilmek için 40 adet devre elemanına ihtiyaç duyulması montaj aşamasında zorluk getirir.

## 2.2. PNP Transistörlü Akım Kaynağı

Şekil 8'deki devrede 2 adet silisyum diyot ve PNP transistör bulunmaktadır. Diyot eşik geriliminin ve transistörün emiter-baz geriliminin yaklaşık 0.7 V olması prensibinden yararlanılarak tasarlanan devre akım kaynağı olarak çalışmaktadır.



Şekil 8: PNP transistörlü devre

LED akımının değeri denklem 2'de verilmiştir.

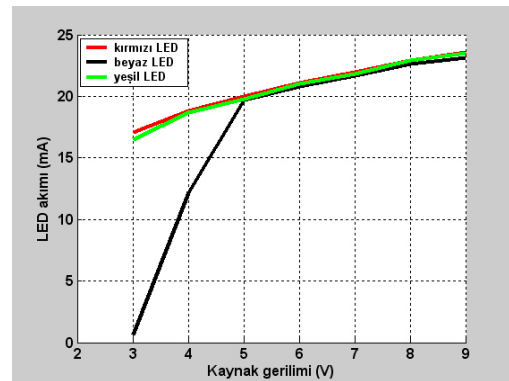
$$I_{LED} \cong \frac{2V_D - V_{EB}}{R_E} \quad (2)$$

Kaynak geriliminin adım adım düşürülmesi durumunda LED akımlarının nasıl değiştiği tablo 3'de görülmektedir.

Tablo 3: PNP transistörlü devre için LED akımları

| VK (Volt) | LED akımı (mA) |       |       |
|-----------|----------------|-------|-------|
|           | Kırmızı        | Yeşil | Beyaz |
| 9         | 23.6           | 23.5  | 23.1  |
| 8         | 22.9           | 22.9  | 22.6  |
| 7         | 22.0           | 21.8  | 21.7  |
| 6         | 21.1           | 21.0  | 20.8  |
| 5         | 20.0           | 19.8  | 19.7  |
| 4         | 18.8           | 18.7  | 12.2  |
| 3         | 17.1           | 16.5  | 0.6   |

Tablodaki değerlere göre çizilen akım-gerilim eğrisi şekil 9'da görülmektedir.



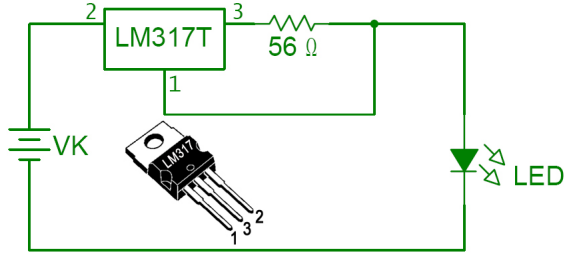
Şekil 9: Akım-gerilim eğrisi

Bu devreye ait sonuçlar, bir önceki devre ile hemen hemen aynıdır. Kaynak gerilimi 5 V'a düşünceye kadar devre gayet iyi çalışmaktadır. LED renginin kırmızı, yeşil veya beyaz olması akım değerini etkilememektedir. Çok sayıda

LED'i aynı anda test edebilmek için onlarca elemana ihtiyaç duyulması nedeniyle montajı zahmetli bir devredir.

### 2.3. Akım Regülatörü

Şekil 10'daki devrede LM317T ayarlı gerilim regülatörü entegresi ve bir adet direnç bulunmaktadır. LM317 regülatörünün 1 ve 3 nolu uçları arasındaki gerilimin 1.25 V olması prensibinden hareketle tasarlanan devre akım regülatörü olarak çalışmaktadır.



Şekil 10: Akım regülatörü

LED'den geçen akım denklem 3'e göre belirlenir.

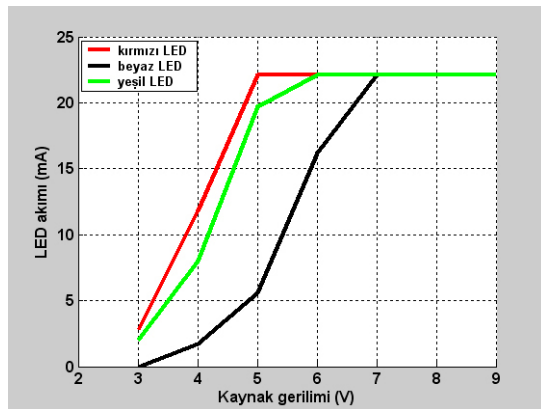
$$I_{LED} \cong \frac{1.25V}{R_s} \quad (3)$$

Kaynak geriliminin 9 V'dan 3 V'a kadar azaltılması durumunda LED akımlarının nasıl değiştiği tablo 4'de görülmektedir.

Tablo 4: LM317 devresi için LED akımları

| VK (Volt) | LED akımı (mA) |       |       |
|-----------|----------------|-------|-------|
|           | Kırmızı        | Yeşil | Beyaz |
| 9         | 22.1           | 22.1  | 22.1  |
| 8         | 22.1           | 22.1  | 22.1  |
| 7         | 22.1           | 22.1  | 22.1  |
| 6         | 22.1           | 22.1  | 16.2  |
| 5         | 22.1           | 19.7  | 5.6   |
| 4         | 11.8           | 8.0   | 1.7   |
| 3         | 2.8            | 2.0   | 0     |

Tablodaki değerlere göre çizilen akım-gerilim eğrisi şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11: Akım-gerilim eğrisi

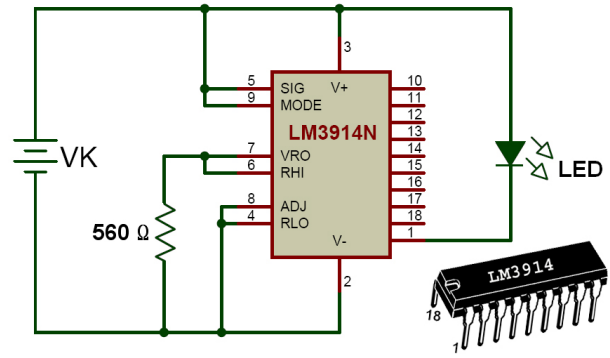
Bu devreye ait sonuçlar incelendiğinde, kaynak geriliminin 7 V'a düşünceye kadar LED akımlarının tamamen aynı olduğu görülmektedir. 7 V'un altında beyaz LED akımı hızla azalmaktadır. Bu durum, regülasyonun sağlanabilmesi için kaynak geriliminin denklem 4'deki eşitliği sağlaması gerekliliğinden kaynaklanmaktadır.

$$V_K \geq V_{dropout} + V_{reg} + V_f \quad (4)$$

Devredeki eleman sayısının az olması ve devrenin 7-9 V arasında çok iyi çalışması dikkate alırsa bu devre test cihazı yapımında tercih edilebilir. Fakat beyaz LED için devrenin iyi sonuç üretmemesi ve 10 kanallı bir test cihazı için 10 adet regülatör entegresine ihtiyaç duyulması dezavantajlı yanları arasındadır.

### 2.4. LM3914 Display Sürücü Entegresi

LM3914 entegresi genellikle bargraf display sürmek için kullanılır [6]. İç yapısında 1.25 V'luk referans gerilim kaynağı içerir ve 10 çıkış kanalına sahiptir. Referans gerilim değeri geniş bir sıcaklık aralığında yaklaşık olarak sabittir. Şekil 12'deki devrede LM3914 entegresi ile oluşturulan sabit akım kaynağı devresi görülmektedir.



Şekil 12: LM3914 ile akım kaynağı

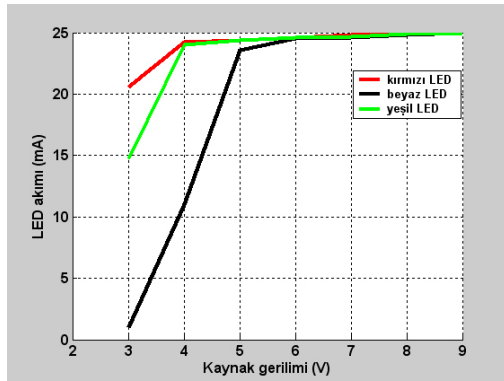
Kanal başına LED akımı denklem 5'e göre belirlenir. Akım değeri devredeki dirençle ayarlanmaktadır.

$$I_{LED} \cong \frac{12.5}{R} \quad (5)$$

Kaynak geriliminin 9 V'dan 3 V'a kadar azaltılması durumunda LED akımlarının nasıl değiştiği tablo 5'de görülmektedir. Tablodaki değerlere göre çizilen akım-gerilim eğrisi şekil 13'de görülmektedir.

Tablo 5: LM3914'lü devre için LED akımları

| VK (Volt) | LED akımı (mA) |       |       |
|-----------|----------------|-------|-------|
|           | Kırmızı        | Yeşil | Beyaz |
| 9         | 25.0           | 25.0  | 25.0  |
| 8         | 24.9           | 24.9  | 24.8  |
| 7         | 24.8           | 24.7  | 24.6  |
| 6         | 24.6           | 24.6  | 24.5  |
| 5         | 24.4           | 24.4  | 23.6  |
| 4         | 24.2           | 24.0  | 11.0  |
| 3         | 20.6           | 14.7  | 1.0   |



Sonuçlar incelendiğinde, devrenin 4.5 V'un üzerinde çok iyi çalıştığı görülmektedir. Kaynak geriliminin %50 azalması durumunda bile LED akımları hemen hemen değişmemektedir. Devrenin en büyük avantajı aynı anda 10 adet LED'i test edebilecek yeterlilikte olmasıdır. 10 adet LED aynı anda test edildiğinde kanal akımları arasındaki fark %5 kadar olmaktadır. Test akımının 20 mA olduğu dikkate alındığında bu fark sadece 1 mA seviyesindedir. Bu değişim ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Devrede sadece bir adet entegre ve bir adet direnç bulunduğundan düşük maliyetli ve montajı kolay bir çözüm sunmaktadır.

### 3. Sonuç

Sonuçlar incelendiğinde, devrenin 4.5 V'un üzerinde çok iyi çalıştığı görülmektedir. Kaynak geriliminin %50 azalması durumunda bile LED akımları hemen hemen değişmemektedir. Devrenin en büyük avantajı aynı anda 10 adet LED'i test edebilecek yeterlilikte olmasıdır. 10 adet LED aynı anda test edildiğinde kanal akımları arasındaki fark %5 kadar olmaktadır. Test akımının 20 mA olduğu dikkate alındığında bu fark sadece 1 mA seviyesindedir. Bu değişim ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Devrede sadece bir adet entegre ve bir adet direnç bulunduğundan düşük maliyetli ve montajı kolay bir çözüm sunmaktadır.

### 3. Sonuç

10 kanallı akım kaynağı tasarımı için yukarıda verilen devre yapıları tablo 6'da karşılaştırılmıştır. Eleman sayısı, maliyet ve montaj kolaylığı dikkate alındığında LM3914 ile tasarlanan LED test cihazı en yüksek performansa sahiptir.

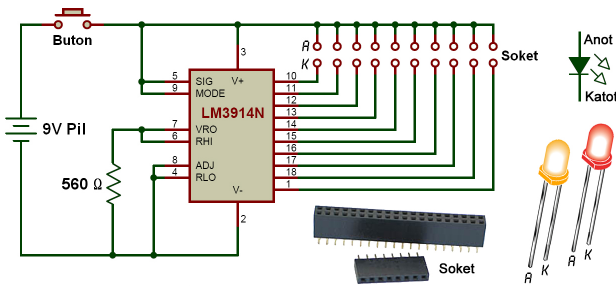
*Tablo 6: Karşılaştırma*

|                               | Eleman sayısı | Maliyet (TL) | Montaj zorluğu |
|-------------------------------|---------------|--------------|----------------|
| Zener diyotlu akım kaynağı    | 40            | 2.5          | * * * *        |
| PNP transistörlü akım kaynağı | 50            | 2.5          | * * * * *      |
| Akım regülatörü               | 20            | 10           | * * *          |
| LM3914'lü devre               | 2             | 3            | *              |

Gerçekleştirilen 10 kanallı akım regüleli LED test cihazı sayesinde aynı anda çok sayıda LED'in ışık rengi, ışık şiddeti ve ışınma açısı tespit edilerek kıyaslanabilmektedir. Ayrıca test sırasında 20 mA sabit akımda LED'in ileri yön gerilimi ölçülebilmektedir. Önerilen tasarımı ile yuvarlak, oval ve mantar tipte LED'lerin test işlemi kolayca yapılabilmekte ve tasarım sürecinde zamandan tasarruf sağlanmaktadır.

#### 4. Kaynaklar

- [1] <http://electronics.howstuffworks.com/led.htm>
- [2] Schubert, E.F., *Light Emitting Diodes*, Cambridge University Press, USA, 2003.
- [3] <http://www.purduyelectronics.com/pdf/LED-SFC.pdf>
- [4] <http://pdfserv.maxim-ic.com/en/an/AN1883.pdf>
- [5] Winder S., *Power Supplies for LED Driving*, Elsevier Inc, USA, 2008.
- [6] <http://www.national.com/pf/LM/LM3914.html>



Şekil 14: Devre şeması

Tasarlanan LED test cihazının yapımı tamamlanmış hali aşağıda görülmektedir. Aynı anda 60 LED'i test edebilen farklı bir versiyon ise şekil 16'da görülmektedir.



Şekil 15: LED test cihazının genel görünüşü