**LTSPICE KURULUMU VE KULLANIM KLAVUZU**

## 1. LTspice Nedir?

**LTspice**, elektronik devrelerin bilgisayar ortamında oluşturulmasını ve simüle edilmesini sağlayan **ücretsiz bir devre simülasyon programıdır**. Program kullanılarak bir elektronik devre fiziksel olarak kurulmadan önce bilgisayar ortamında modellenebilir ve devrenin davranışı incelenebilir.

LTspice ile direnç, kondansatör, bobin, diyot, transistör ve işlemsel yükselteç gibi devre elemanları kullanılarak çeşitli elektronik devreler oluşturulabilir. Oluşturulan devrelerde **gerilim, akım, güç ve zamana veya frekansa bağlı değişimler** grafiksel olarak incelenebilir.

## 2. LTspice'ın Çalışma Mantığı

LTspice'ın temel çalışma mantığı genel olarak **devreyi oluştur → simülasyon türünü belirle → simülasyonu çalıştır → sonuçları incele** adımlarından oluşur.

Örneğin öğrenci bir RC devresini incelemek istediğinde önce direnç ve kondansatörü çalışma alanına yerleştirir, elemanların değerlerini belirler ve gerekli bağlantıları yapar. Ardından uygun analiz türünü seçerek simülasyonu çalıştırır. Program, devredeki gerilim ve akımların değişimini hesaplayarak sonuçların grafik üzerinde incelenmesini sağlar.

Bu sayede teorik olarak hesaplanan sonuçlar ile simülasyondan elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir.

## 3. LTspice ile Yapılabilecek Temel Analizler

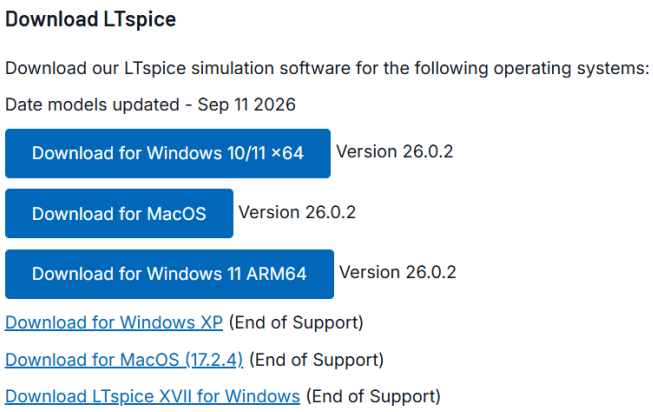
Başlangıç seviyesinde LTspice kullanılarak özellikle **DC çalışma noktası analizi (Operating Point), DC Sweep, AC analizi ve Transient (zaman domeni) analizi** gerçekleştirilebilir. Bu analizlerin kullanımına ilerleyen bölümlerde örnek devreler üzerinden adım adım yer verilecektir.

## 4. LTspice'ın Kurulumu

LTspice ücretsiz olarak kullanılabilir. Programı kurmak için öncelikle işletim sisteminize uygun LTspice kurulum dosyasını indiriniz.

**Adım 1:** LTspice'ın resmi internet sayfasına gidiniz. (https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html)

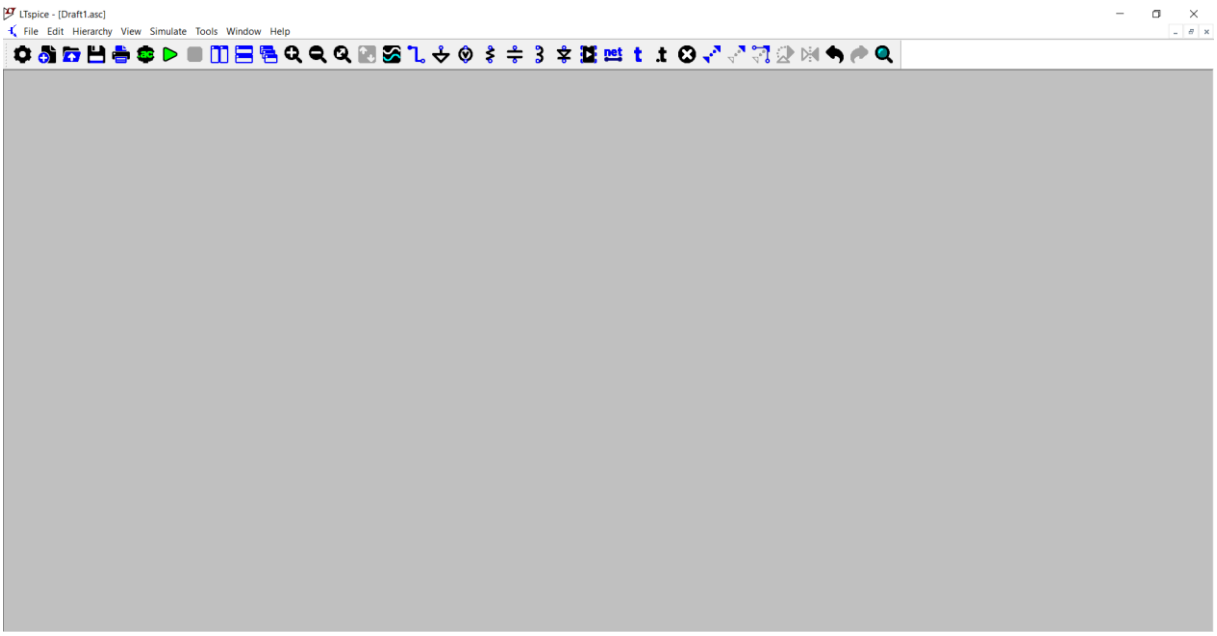
**Adım 2:** İşletim sisteminize uygun kurulum dosyasını indiriniz.




**Adım 3:** İndirilen kurulum dosyasını çalıştırınız.
**Adım 4:** Ekrandaki kurulum yönergelerini takip ederek kurulumu tamamlayınız.

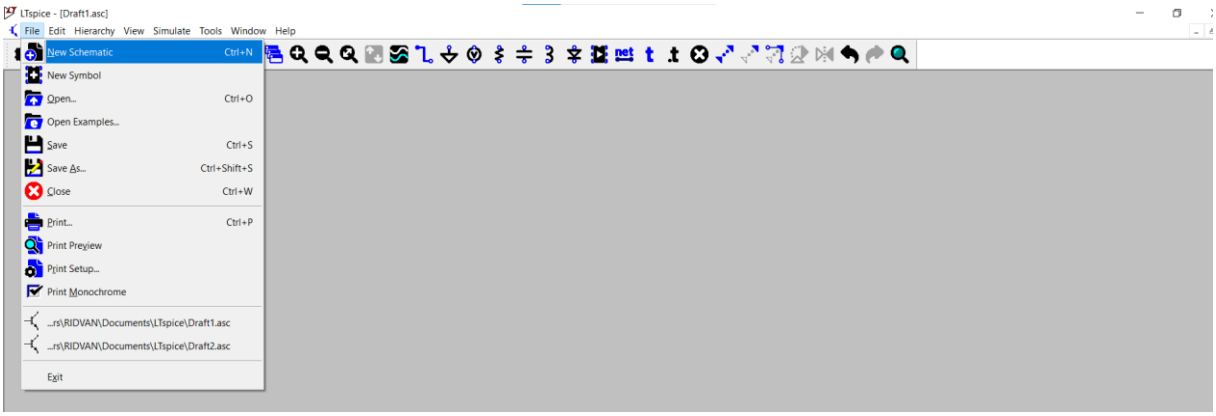
## 5. Yeni Bir Devre Şeması Oluşturma

- LTspice programının kurulumu tamamlandıktan sonra program çalıştırılır. Program açıldığında Şekil 1'de gösterilen ana çalışma ekranı görüntülenir.




**Şekil 1.** LTspice program arayüzü

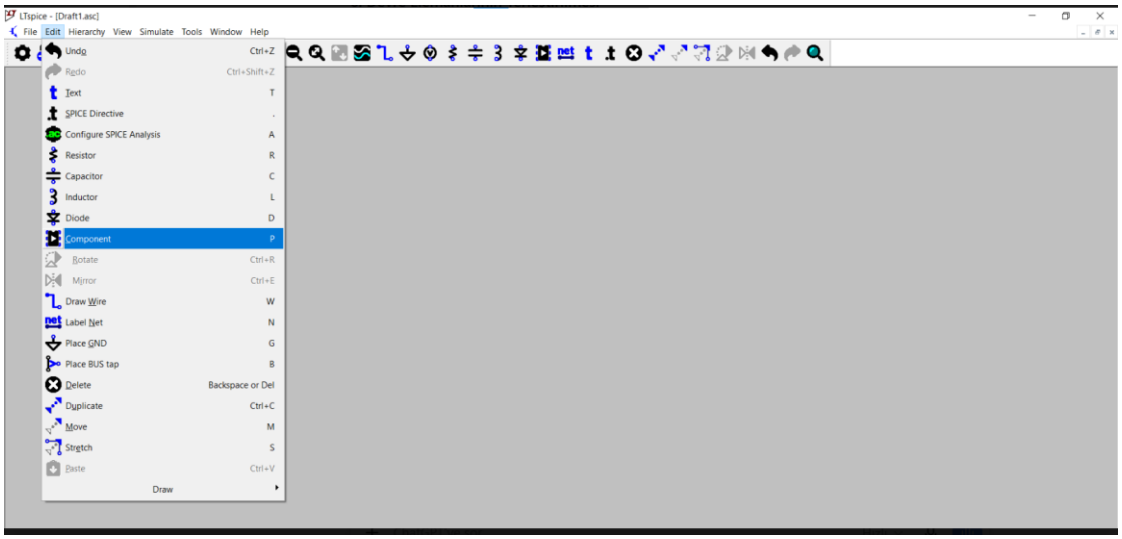
❖ Yeni bir devre tasarlamaya başlamak için Şekil 2.'deki üst menüde bulunan **File** menüsüne tıklanır. Açılan menüden **New Schematic** seçeneği seçilir. Aynı işlem klavyeden **Ctrl + N** kısayolu kullanılarak da gerçekleştirilebilir. **New Schematic** seçildikten sonra boş bir şematik çalışma alanı açılır. Bu alan, simülasyonu yapılacak elektronik devrenin oluşturulacağı bölümdür. Devre elemanları bu alana yerleştirilir, elemanların değerleri belirlenir ve gerekli elektriksel bağlantılar yapılır. Daha önce çalışılmış bir dosyayı ise önce **File** ardından bu sekmedeki **Open ile erişebilirsiniz.**



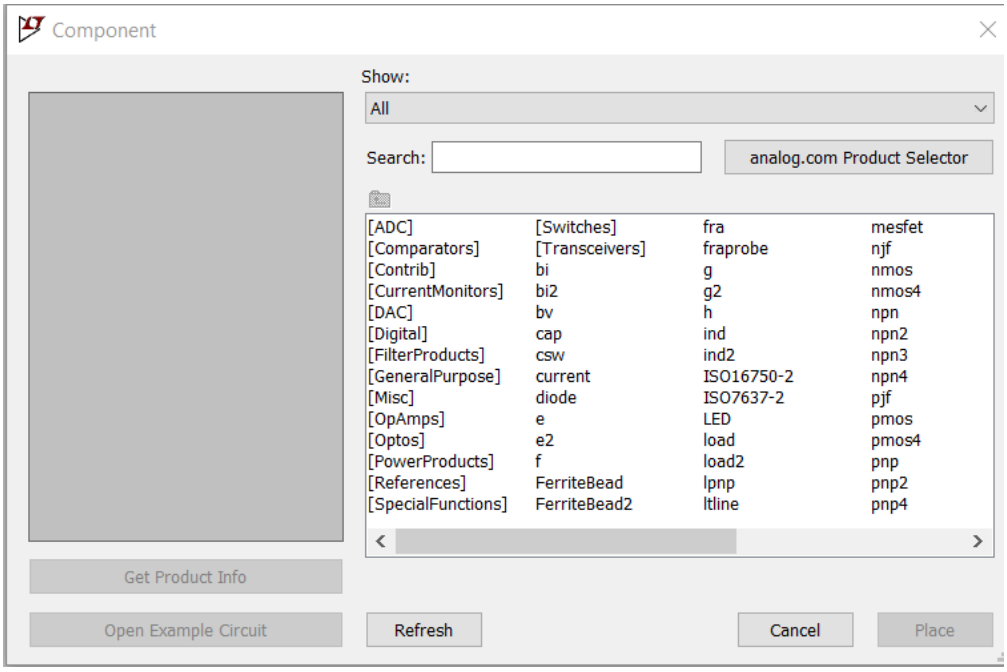

Şekil 2. New Schematic seçeneği ile yeni devre şemasının oluşturulması

**6. Devre Elemanlarının Yerleştirilmesi**

Yeni şematik oluşturulduktan sonraki ilk işlem, devrede kullanılacak elemanların çalışma alanına yerleştirilmesidir. LTspice içerisinde direnç, kondansatör, bobin, diyot, transistör, gerilim kaynağı gibi çok sayıda devre elemanı bulunmaktadır. LTspice'ta devre elemanlarını çalışma alanına eklemek için birden fazla yöntem kullanılabilir. **Direnç (Resistor), kondansatör (Capacitor), bobin (Inductor) ve diyot (Diode)** gibi sık kullanılan devre elemanlarına **Edit menüsünden** veya çalışma alanının üst kısmında bulunan **araç çubuğundaki ilgili simgelerden** doğrudan erişilebilir. Bu bölümlerde yer almayan elemanlar için ise **Edit → Component** seçeneği kullanılır. **Component** penceresi açıldıktan sonra istenilen eleman **search** yazan bölüme aranarak seçilir ve şematik çalışma alanına yerleştirilir.




Şekil 3. Edit menüsünden devre elemanlarının eklenmesi




**Şekil 4.** LTspice Component Penceresinde Devre Elemanı Arama ve Seçme Ekranı

- Sık kullanılan bazı elemanlar için LTspice doğrudan klavye kısayolları da sunmaktadır. Örneğin **R** tuşu direnç (Resistor), **C** tuşu kondansatör (Capacitor), **L** tuşu bobin (Inductor), **D** tuşu diyot (Diode), **P** tuşu ise genel **Component** penceresini açmak için kullanılabilir. Ayrıca **W** bağlantı kablosu (Draw Wire), **G** toprak (GND), **M** ise bir elemanı taşımak (Move) için kullanılabilir.

### 6.1. Devre Elemanlarının Çalışma Alanına Yerleştirilmesi ve Taşınması

Devrede kullanılacak eleman, **Edit** menüsünden veya çalışma alanının üst kısmında bulunan **araç çubuğundaki ilgili simgeden** seçilebilir. Seçilen eleman fare imlecine bağlı olarak çalışma alanında görüntülenir. Elemanın yerleştirilmek istendiği konuma farenin **sol tuşu ile tıklanarak** eleman çalışma alanına yerleştirilir.

Bir eleman yerleştirildikten sonra LTspice aynı elemanı yeniden yerleştirmeye hazır durumda kalır. Bu özellik, aynı türden birden fazla elemanın devreye hızlı bir şekilde eklenmesini sağlar. Başka bir elemana veya komuta geçmek için **Esc** tuşuna basılarak mevcut eleman yerleştirme işleminden çıkılabilir.

Yerleştirilen bir devre elemanının konumu daha sonra değiştirilmek istenirse **Move (Taşı)** komutu kullanılabilir. **Edit → Move** seçeneği seçildikten veya **M** kısayol tuşuna basıldıktan sonra taşınmak istenen elemanın üzerine tıklanır. Eleman seçildiğinde **seçim çerçevesiyle işaretlenir** ve fare hareketiyle istenilen konuma taşınabilir. Yeni konum belirlendikten sonra farenin sol tuşuna tıklanarak eleman yeniden yerleştirilir.

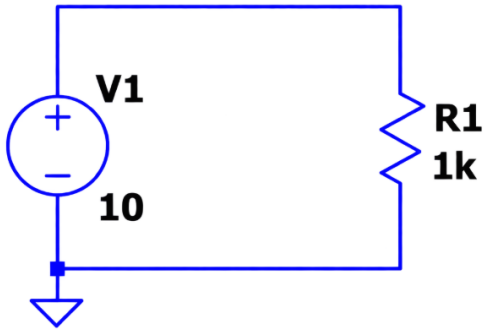
### 6.2. Devre Elemanlarının Taşınması ve Yönünün Değiştirilmesi

Bir devre elemanının **yönünü değiştirmek** için ise **Rotate (Döndür)** komutu kullanılır. **Edit → Rotate** seçeneği veya **Ctrl + R** klavye kısayolu kullanılarak eleman döndürülebilir. Bu özellik özellikle direnç, kondansatör, bobin gibi elemanların devre şemasına uygun şekilde **yatay veya dikey konumlandırılmasında** kullanışlıdır.

**Not:** Bir komut aktif durumdayken işlemden çıkmak veya başka bir komuta geçmek için **Esc** tuşuna basılabilir.

**Örnek Uygulama:** Basit Bir DC Devresinin Oluşturulması

LTspice kullanımının temel adımlarını öğrenmek amacıyla bu bölümde basit bir DC devresi oluşturulacaktır. Devrede **10 V değerinde bir DC gerilim kaynağı** ve **1 kΩ değerinde bir direnç** kullanılacaktır.




**Şekil 5.** Basit bir DC devresi

**1. Örnek Devrenin Oluşturulması**

Uygulamaya başlamadan önce yeni bir çalışma dosyası oluşturulur. Bunun için LTspice ana ekranında **File → New Schematic** seçeneğine tıklanır. Aynı işlem klavyeden **Ctrl + N** kısayolu kullanılarak da gerçekleştirilebilir. Açılan boş şematik çalışma alanı, devrenin oluşturulacağı çalışma sayfasıdır. Çalışmanın kaydedilmesi için **File → Save As** seçeneği kullanılarak dosyaya uygun bir isim verilebilir.

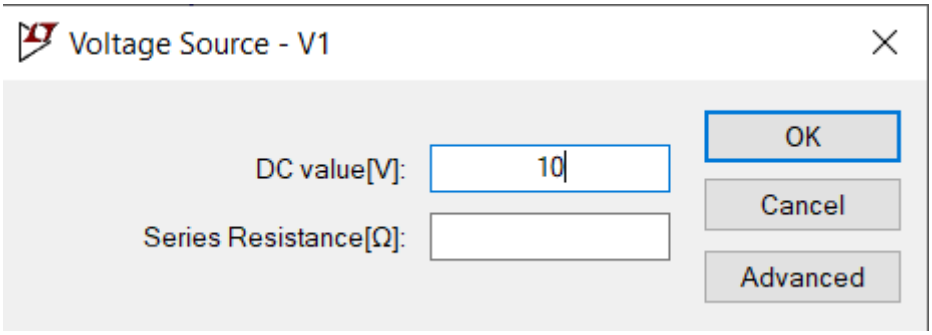
**2. Gerilim Kaynağının Eklenmesi ve Değerinin Belirlenmesi**

İlk olarak devreye **DC gerilim kaynağı** eklenir. Gerilim kaynağına, çalışma alanının üst kısmında bulunan **araç çubuğundaki Voltage Source (Gerilim Kaynağı) simgesine** tıklanarak doğrudan ulaşılabilir. Alternatif olarak **Edit → Component** seçeneğine tıklanabilir veya klavyeden **P** tuşuna basılarak **Component (Devre Elemanı Seçim)** penceresi açılabilir. Bu yöntem kullanıldığında **Search (Arama)** alanına voltage yazılır ve listelenen gerilim kaynağı seçilir.

Gerilim kaynağı seçildikten sonra fare imleci çalışma alanında istenilen konuma getirilir ve **farenin sol tuşuna tıklanarak** eleman yerleştirilir. Eleman yerleştirildikten sonra aynı eleman yeniden fare imlecinde görüntülenir; böylece istenirse aynı elemandan birden fazla yerleştirilebilir. Başka bir gerilim kaynağı eklenmeyecekse **Esc** tuşuna basılarak eleman yerleştirme işleminden çıkılır.

Devreye yerleştirilen gerilim kaynağının üzerine farenin sağ tuşuyla tıklandığında gerilim kaynağına ait temel özellik penceresi açılır. Devrede sabit bir DC gerilim kaynağı kullanılacaksa DC value [V] alanına istenilen gerilim değeri doğrudan girilir. Örneğin bu

uygulamada kaynak gerilimi 10 V olduğundan bu alana 10 yazılır ve OK düğmesine tıklanır. Böylece gerilim kaynağının değeri 10 V DC olarak tanımlanmış olur.

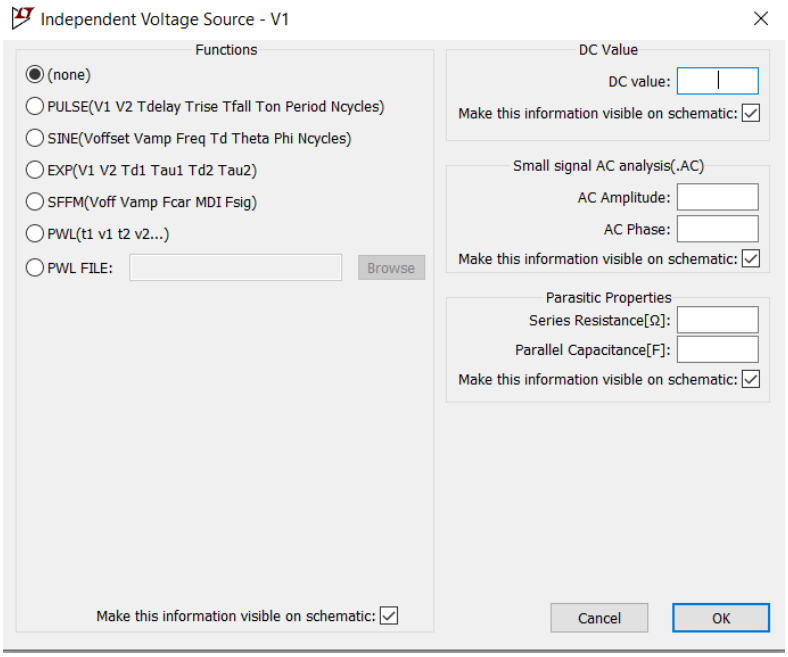



**Şekil 6.** DC gerilim Kaynağının Değerinin belirlenmesi

**NOT :** Gerilim kaynağının yalnızca sabit DC kaynak olarak değil, **zamana bağlı farklı bir sinyal kaynağı** olarak kullanılması gerektiğinde aynı pencerede bulunan **Advanced** düğmesine tıklanır. Açılan **Independent Voltage Source** penceresinden kaynağın çalışma biçimi belirlenebilir. Bu pencerede aşağıdaki kaynak türleri bulunmaktadır:

- **PULSE:** Darbe/kare dalga biçiminde değişen gerilim kaynağı
- **SINE:** Sinüzoidal gerilim kaynağı
- **EXP:** Üstel (exponential) değişim gösteren gerilim kaynağı
- **SFFM:** Frekans modülasyonlu sinüzoidal kaynak
- **PWL:** Gerilim-zaman noktaları kullanıcı tarafından belirlenen parçalı doğrusal (Piecewise Linear) kaynak
- **PWL FILE:** PWL verilerinin harici bir dosyadan alınmasını sağlayan kaynak

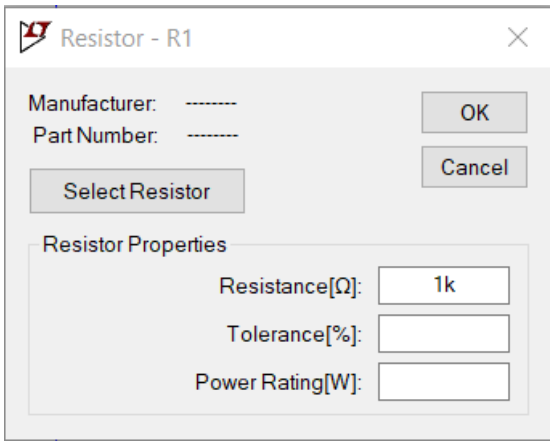
Ayrıca pencerenin sağ tarafındaki **DC Value** bölümü kaynağın DC değerini, **Small signal AC analysis (AC)** bölümü ise özellikle **AC küçük-sinyal analizinde** kullanılacak genlik ve faz değerlerini tanımlamak için kullanılır.




**Şekil 7.** Gerilim Kaynağının Gelişmiş (Advanced) Ayarlar Penceresi

### 3. Direncin Eklenmesi

Daha sonra devreye **direnç (Resistor)** eklenir. Direnç, çalışma alanının üst kısmındaki **araç çubuğunda bulunan Resistor simgesinden** veya **Edit → Resistor** seçeneğinden seçilebilir. Ayrıca klavyeden **R** tuşuna basılarak da direnç doğrudan eklenebilir. Direnç seçildikten sonra çalışma alanında uygun konuma farenin sol tuşuyla tıklanarak yerleştirilir. Direncin yönünün değiştirilmesi gerekiyorsa **Edit → Rotate** komutu veya **Ctrl + R** kısayolu kullanılarak eleman döndürülebilir. Yerleştirme işlemi tamamlandıktan sonra **Esc** tuşuna basılarak komuttan çıkılır. Devreye yerleştirilen direncin değeri, direnç üzerine **farenin sağ tuşuyla tıklanarak** belirlenebilir. Açılan **Resistor Properties (Direnç Özellikleri)** penceresinde bulunan **Resistance [Ω]** alanına istenilen direnç değeri girilir. Bu uygulamada direnç değeri **1 kΩ** olarak kullanılacağından ilgili alana `1k` yazılır ve **OK** düğmesine tıklanır.




**Şekil 7.** Direnç Değerinin Resistor Properties Penceresinden Belirlenmesi

**4. Devre Elemanlarının Birbirine Bağlanması (Wire)**

Devre elemanları çalışma alanına yerleştirildikten ve değerleri belirlendikten sonra elemanlar arasındaki elektriksel bağlantılar oluşturulur. Bunun için **Draw Wire (Bağlantı İletkeni)** komutu kullanılır. Draw Wire komutuna çalışma alanının üst kısmında bulunan **araç çubuğundaki Wire simgesinden**, **Edit → Draw Wire** seçeneğinden veya klavyeden **W** tuşuna basılarak ulaşılabilir.

Wire komutu seçildikten sonra bağlantının başlayacağı elemanın terminaline farenin sol tuşuyla tıklanır. Fare imleci bağlantının yapılacağı diğer elemanın terminaline götürülür ve tekrar sol tuşla tıklanarak bağlantı tamamlanır. Bu işlem diğer terminaller için de tekrarlanarak kapalı devre oluşturulur. Bağlantı işlemleri tamamlandıktan sonra **Esc** tuşuna basılarak Draw Wire komutundan çıkılır.

Bu uygulamada gerilim kaynağının pozitif terminali direncin bir ucuna, direncin diğer ucu ise gerilim kaynağının negatif terminaline bağlanarak kapalı bir devre oluşturulur.

**5. Ground (GND) Eklenmesi**

LTspice'ta devrenin simüle edilebilmesi için devrede bir **Ground (GND – Toprak/Referans)** noktası bulunmalıdır. Ground, devredeki düğüm gerilimlerinin hesaplanmasında kullanılan **0 V referans noktasıdır**.

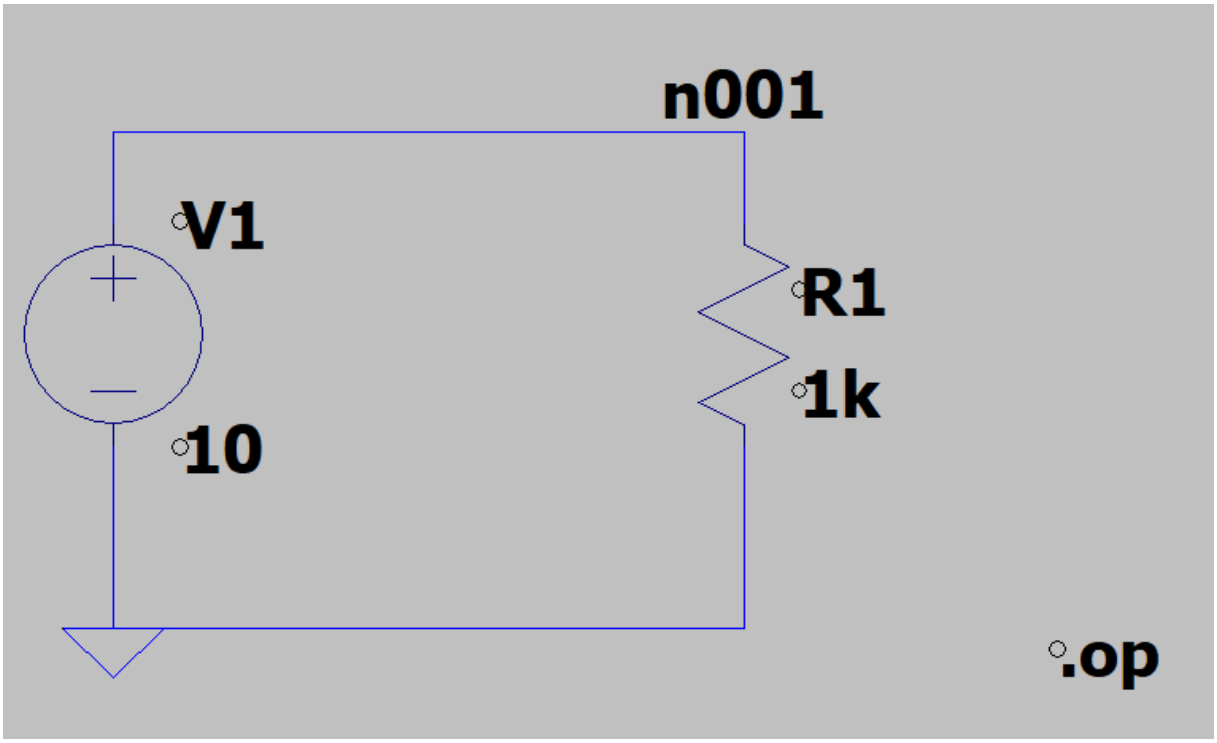
Ground eklemek için çalışma alanının üst kısmında bulunan **araç çubuğundaki Ground simgesine** tıklanabilir. Alternatif olarak **Edit → Place GND** seçeneği kullanılabilir veya

klavyeden **G** tuşuna basılabilir. Ground sembolü seçildikten sonra devrede referans noktası olarak kullanılacak düğüme farenin sol tuşuyla tıklanarak yerleştirilir. Bu uygulamada Ground, **gerilim kaynağının negatif terminalinin bağlı olduğu düğüme** yerleştirilir. Yerleştirme tamamlandıktan sonra **Esc** tuşuna basılarak Ground ekleme işleminden çıkılır.

**Not:** Ground, direnç veya gerilim kaynağı gibi **Component penceresinden seçilen bir devre elemanı değildir**. LTspice'ta Ground eklemek için **Place GND** komutu kullanılır. En hızlı yöntem klavyeden **G** tuşuna basmaktır.

### 6. Devrenin Tamamlanması

Gerilim kaynağı, direnç, bağlantı iletkenleri ve GND yerleştirildikten sonra örnek devre aşağıdaki şekilde tamamlanmış olur.




**Şekil 8.** DC Gerilim Kaynağı ve 1 kΩ Dirençten Oluşan Örnek Devre

## 7. Düğüm Noktalarının İsimlendirilmesi (Label Net)

Devrede bulunan **düğüm noktalarına (node)** kullanıcı tarafından bir isim verilmediğinde LTspice bu noktaları otomatik olarak n001, n002, n003 gibi isimlerle adlandırır. Devredeki düğüm noktası sayısı arttıkça bu isimlerin hangi noktaya ait olduğunu takip etmek zorlaşabilir. Bu nedenle özellikle birden fazla kaynak ve düğüm noktası bulunan devrelerde, düğüm noktalarına anlamlı isimler verilmesi önerilir.

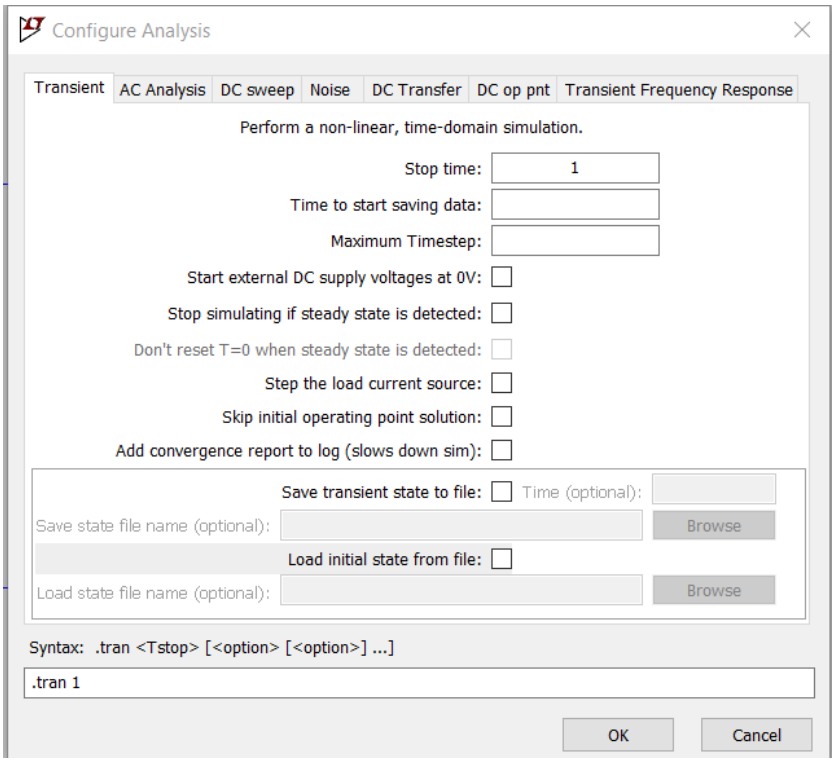
Düğüm noktalarını isimlendirmek için araç çubuğundaki **Label Net** simgesi, **Edit → Label Net** seçeneği veya klavyeden **N** tuşu kullanılabilir. Açılan alana Vin, Vout gibi uygun bir isim yazılır ve oluşturulan etiket isimlendirilmek istenen **düğüm noktasına veya o düğüme ait bağlantı iletkeninin üzerine** yerleştirilir.

Böylece simülasyon sonuçlarında V(n001), V(n002) gibi otomatik isimler yerine V(Vin), V(Vout) gibi daha anlaşılır ifadeler görüntülenir.

**Not:** Özellikle çok sayıda düğüm noktası bulunan devrelerde **Label Net** kullanılması, simülasyon sonuçlarının daha kolay okunmasını ve hangi gerilim değerinin devrenin hangi noktasına ait olduğunun daha kolay belirlenmesini sağlar.

## 8. Simülasyon Türünün Seçilmesi

Devre oluşturulduktan sonra gerçekleştirilecek analiz türünü belirlemek için **Simulate → Configure Analysis** seçeneğine tıklanır. Açılan **Configure Analysis** penceresinde farklı devre analizleri için çeşitli seçenekler bulunmaktadır. **Transient**, devrenin zamana bağlı davranışını; **AC Analysis**, frekansa bağlı küçük-sinyal davranışını; **DC Sweep**, bir DC kaynağın belirli aralıktaki değerleri için devre davranışını; **Noise**, devredeki gürültüyü; **DC Transfer**, DC transfer karakteristiğini; **DC op pnt**, devrenin DC çalışma noktasındaki gerilim ve akım değerlerini incelemek amacıyla kullanılır. **Transient Frequency Response** ise transient analiz sonuçlarından frekans bileşenlerinin incelenmesine yönelik bir analiz seçeneğidir.




**Şekil 9.** LTspice Configure Analysis Penceresinde Analiz Türlerinin Seçilmesi

Bu uygulamada sabit **10 V DC kaynak ve 1 kΩ direnç** kullanıldığından devrenin çalışma noktasındaki gerilim ve akım değerlerini görmek için **DC op pnt (DC Operating Point)** sekmesi seçilir. **DC op pnt (.op)** analizi seçildikten ve komut devre şemasına yerleştirildikten sonra simülasyon çalıştırılabilir. Bunun için araç çubuğunda bulunan **yeşil üçgen şeklindeki Run (Çalıştır) düğmesine** tıklanır. Alternatif olarak **Simulate → Run** seçeneği de kullanılabilir. Simülasyon tamamlandığında devrenin DC çalışma noktasına ait gerilim ve akım değerleri görüntülenir.

## 9. Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

**DC Operating Point** analizi sonucunda devrenin düğüm gerilimi ve elemanlardan geçen akım değerleri görüntülenmektedir. Sonuç penceresinde V(n001) = 10 V değeri, **n001 düğüm noktasının GND'ye göre geriliminin 10 V** olduğunu göstermektedir. I(R1) = 0.01 A değeri ise **R1 direncinden 10 mA akım geçtiğini** ifade etmektedir.

Sonuç ekranında gerilim kaynağının akımı ise I(V1) = -0.01 A, yani **−10 mA** olarak görülmektedir. Buradaki negatif işaret akımın büyüklüğünün farklı olduğu veya devrenin yanlış kurulduğu anlamına gelmez. **Dirençten ve gerilim kaynağından geçen akımın büyüklüğü**

**aynıdır: 10 mA.** İşaret farkı yalnızca LTspice'ın kullandığı **referans akım yönünden** kaynaklanmaktadır.

**Not:** LTspice, bir gerilim kaynağının akımını **kaynağın pozitif (+) terminaline giren yönde pozitif** kabul eder. Bu devrede ise kaynak devreye enerji verdiğinden konvansiyonel akım **V1'in pozitif (+) terminalinden dışarı çıkmaktadır**. Akım LTspice'ın pozitif kabul ettiği referans yönünün tersinde aktığı için I(V1) = -10 mA olarak gösterilir. Dolayısıyla I(R1)=+10 mA ve I(V1)=-10 mA değerleri fiziksel olarak **aynı 10 mA devre akımını**, farklı referans yönlerine göre ifade etmektedir.

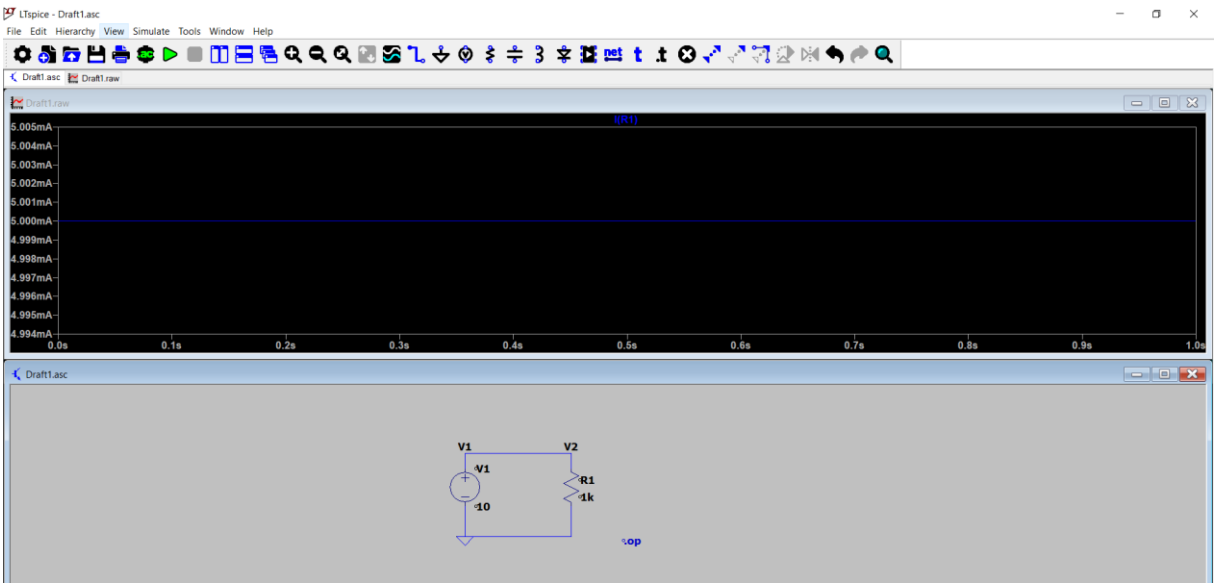
```
--- Operating Point ---

V(n001):        10              voltage
I(R1):          0.01            device_current
I(V1):          -0.01           device_current
```

**Şekil 10.** Simülasyon Sonuçları

### 10. Gerilim ve Akım Değerlerinin Grafik Üzerinden İncelenmesi

DC Operating Point analizi, devrenin belirli bir çalışma noktasındaki düğüm gerilimlerini ve eleman akımlarını sayısal olarak incelemek için kullanılır. Ancak birçok devrede gerilim ve akım değerlerinin **zamana bağlı değişiminin** gözlemlenmesi gerekir. LTspice, bu değişimleri grafik üzerinde görüntüleyerek devrenin davranışının daha ayrıntılı incelenmesine olanak sağlar. Bunun için **Transient (Geçici Durum) analizi** kullanılır. Transient analizinde gerilim ve akım değerleri zamana bağlı olarak çizdirilebilir; böylece yalnızca sayısal sonuçlar değil, sinyallerin zaman içerisindeki değişimi de gözlemlenebilir. Transient analizi çalıştırıldıktan sonra devredeki gerilim ve akım değerleri prob kullanılarak grafik üzerinde görüntülenebilir. Bir devre elemanından geçen akımı görüntülemek için fare imleci ilgili devre elemanının üzerine getirilir. İmleç akım probu şekline dönüştüğünde elemana tıklanır ve elemandan geçen akım zamana bağlı olarak grafik penceresinde gösterilir. Bir düğüm noktasının GND'ye göre gerilimini görüntülemek için ise fare imleci ilgili düğüm veya bağlantı iletkeninin üzerine getirilir. İmleç gerilim probuna dönüştüğünde düğüme tıklanır. Böylece seçilen düğümün GND'ye göre gerilimi grafik üzerinde görüntülenir. İki farklı düğüm arasındaki gerilimi ölçmek için ilk düğüm üzerinde farenin sol tuşuna basılı tutulur ve imleç ikinci düğüme sürüklenir. Bu işlem sırasında kırmızı ve siyah diferansiyel gerilim probları görüntülenir. Kırmızı prob gerilimin pozitif referans noktasını, siyah prob ise negatif referans noktasını temsil eder.




**Şekil 11.** Transient Analizi ile Direnç Akımının Zamana Bağlı Olarak Görüntülenmesi

**NOT: Akım Yönünün Grafik Üzerinden Yorumlanması**

LTspice'ta bir eleman akımının pozitif veya negatif görüntülenmesi, akımın program tarafından o eleman için tanımlanan **referans yöne göre hangi yönde aktığını** ifade eder. Bu nedenle negatif akım değeri yalnızca sayısal bir işaret olarak değerlendirilmemelidir.

Basit seri devrede akımın fiziksel yönü devre yapısından kolaylıkla belirlenebilir. Ancak birden fazla gerilim veya akım kaynağının bulunduğu daha karmaşık devrelerde, kaynakların etkisine bağlı olarak bir koldaki akımın yönü gerçekten değişebilir. Bu nedenle LTspice'ta elde edilen akımın işareti yorumlanırken önce **hangi akım yönünün referans olarak kabul edildiği** belirlenmeli, daha sonra simülasyon sonucu bu referans yönüne göre değerlendirilmelidir.

Örneğin teorik analizde bir kol akımı için belirli bir yön pozitif kabul edilmişse, LTspice'ın aynı eleman için kullandığı referans yönünün teorik analizde seçilen yönle aynı olup olmadığı kontrol edilmelidir. Referans yönleri ters ise LTspice'ta görüntülenen akımın işareti teorik analizde kullanılan işarete dönüştürülmelidir. Böylece negatif bir sonucun **elemanın LTspice referansından mı yoksa devredeki kaynakların etkisiyle akımın gerçekten ters yönde akmasından mı** kaynaklandığı doğru şekilde yorumlanabilir.