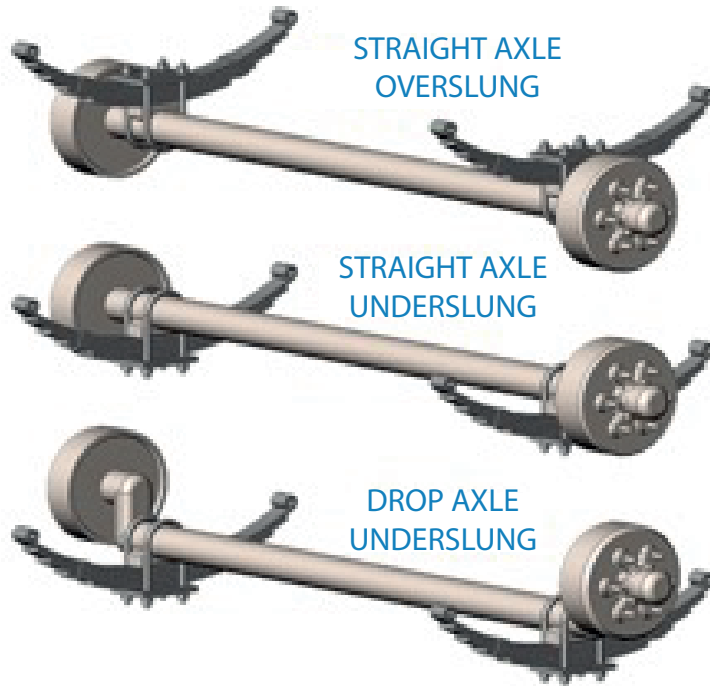


TEKNİK DOKÜMAN



Adams



BIAS
MÜHENDİSLİK



HEXAGON

Authorised Hexagon reseller

ADAMS CAR – LEAF SPRING EDITOR

HAZIRLAYAN	ONAYLAYAN
Efdal Erdağı Mekanik Simülasyon Aday Mühendisi	Eren Morgil Kıdemli Mekanik Simülasyon Mühendisi

Tarih: 25.04.2025

1. GİRİŞ

Bu çalışma kapsamında, Adams yazılımı içerisinde yer alan “Leaf Spring Editor” penceresinin detaylı bir şekilde incelenmesi amaçlanmaktadır. Yaprak yay (leaf spring) süspansiyon sistemleri, özellikle ticari araçlar ve arazi taşıtlarında sıklıkla tercih edilen, dayanıklı ve yük taşıma kapasitesi yüksek sistemlerdir. Bu sistemlerin taşıt üzerindeki etkileri, yaprakların geometrik özellikleri ve bağlantı detayları doğrultusunda değişkenlik göstermektedir.

Çalışmanın temel amacı, yaprak yay sisteminde kullanılan parametrelerin teknik anlamlarını açıklamak, bunların “Leaf Spring Editor” penceresinde nasıl tanımlandığını belirtmek ve mühendislik açısından değerlendirmelerini yapmaktır.

Bu teknik yazı, “Leaf Spring Editor” arayüzünün kullanıcı açısından anlamlı bir şekilde kullanılmasını sağlamayı, sistem tasarımında dikkat edilmesi gereken temel kavramları anlaşılır hale getirmeyi ve yaprak yay sistemleri üzerine mühendislik perspektifinden yorumlar sunmayı hedeflemektedir.

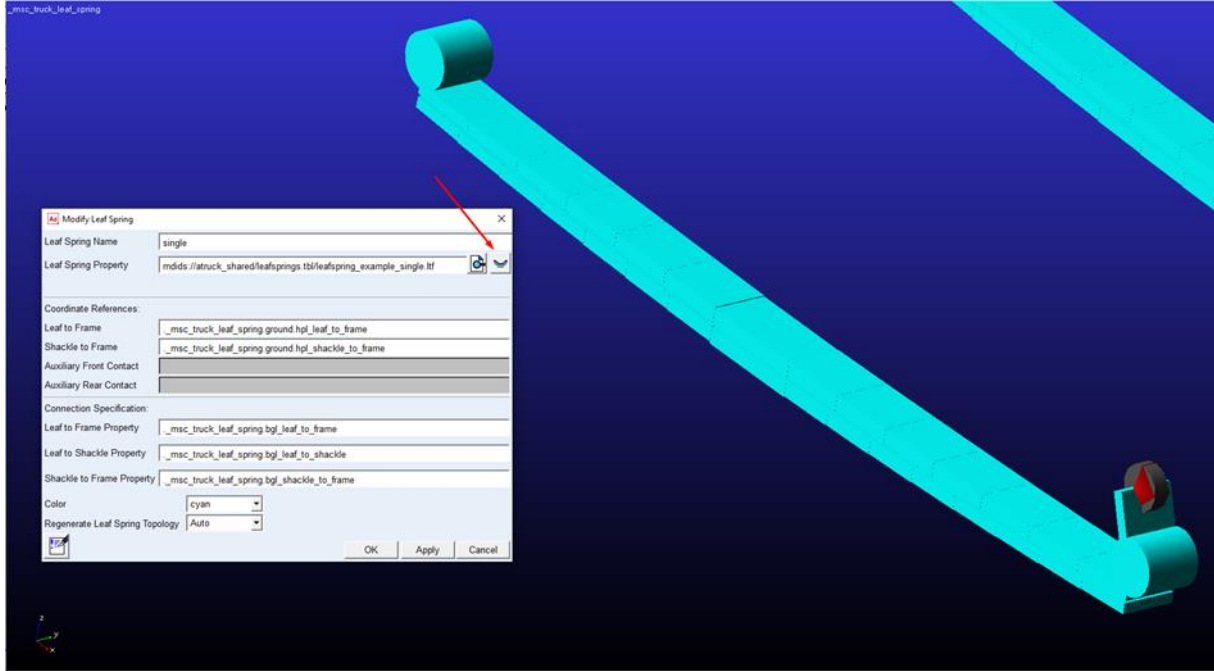
2. YAPRAK YAY OLUŞTURMA ARACI: “LEAF SPRING EDITOR”

“Leaf Spring Editor”, Adams içerisinde yaprak yay modellenmesi, düzenlenmesi ve analiz edilmesi için kullanılan bir araçtır. Yaprak yaylar dinamik yükler altında taşıtın konforunu ve dengesini sağlamada kritik bir rol oynar. Bu editör, kullanıcıların yaprak yay sistemlerini ayrıntılı şekilde tanımlamasına ve parametrelerini ayarlamasına olanak tanır. Ayrıca yaprak yayların geometrik, mekanik ve dinamik özelliklerinin belirlenmesiyle birlikte, bunlar Adams içerisindeki simülasyonlara entegre edilebilmektedir.

Yaprak yaylar, özellikle otomotiv süspansiyon sistemlerinde kullanılan esnek bileşenlerdir. Genellikle çelik malzemeden yapılırlar ve birbirine bağlı birkaç levhadan (leaf plate) oluşurlar. Geleneksel olarak, kamyonlar ve ticari araçlarda kullanımı yaygındır. Ana işlevleri:

- Araç ağırlığını taşımak,
- Yol yüzeyindeki darbeleri sönmölemek,
- Aks hizalamasını ve yol tutuşunu korumaktır.

Yaprak yay modelleri, sadece “Template Builder” arayüzünden oluşturularak standart arayüzden düzenlenebilmektedir. Şekil 1’de gösterildiği gibi standart arayüzde düzenlenebilmektedir.

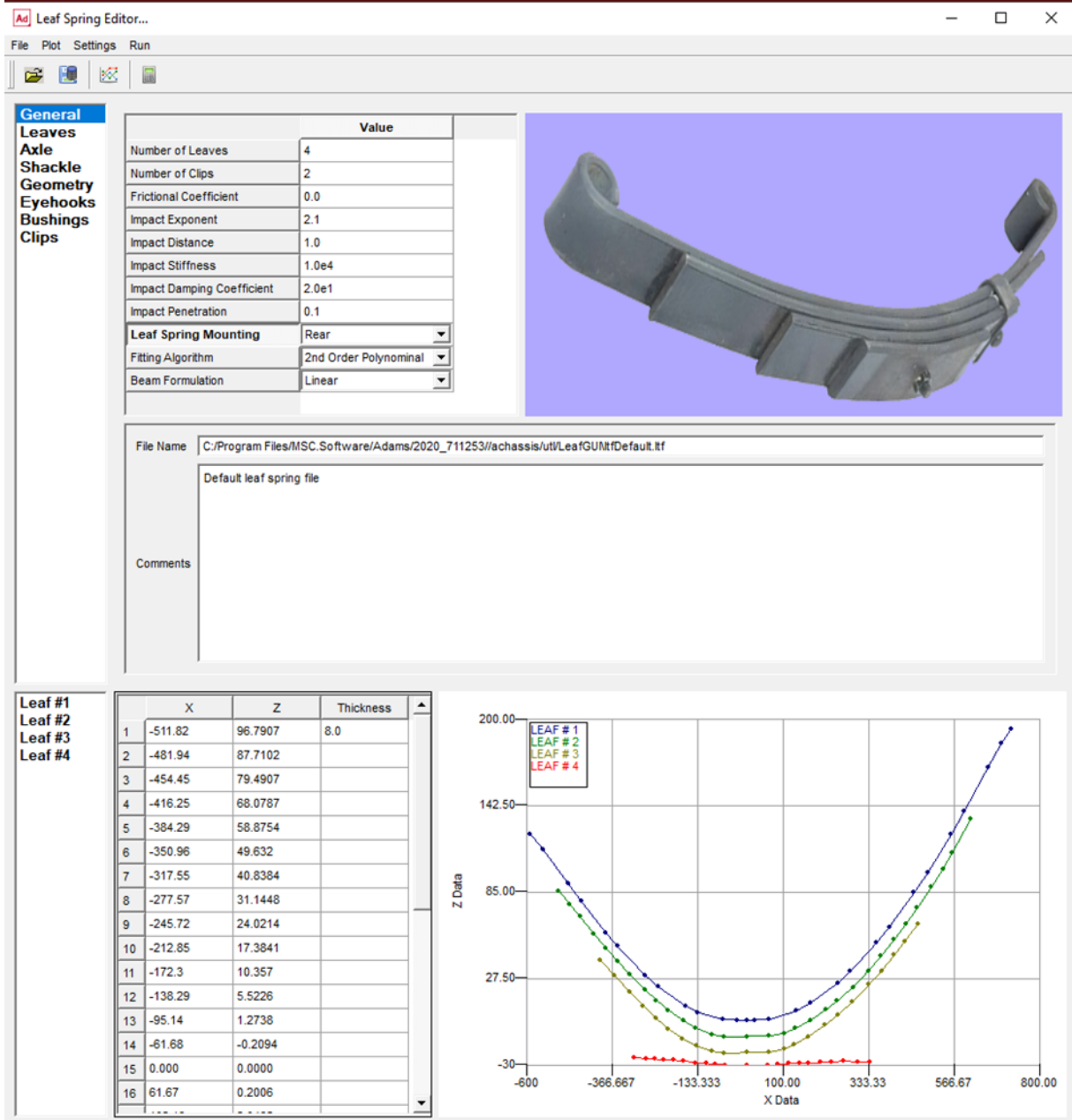


Şekil 1 – Standart Arayüzde Yaprak Yay Düzenleme Penceresi

2.1. “Leaf Spring Editor” Penceresinin Tanıtılması

Şekil 2’de “Leaf Spring Editor” penceresi gösterilmektedir. Daha önce oluşturulmuş veya yeni oluşturulacak yaprak yay modelleri “.Itf” uzantısı ile kaydedilmektedir.

- I. “File” sekmesinden düzenlenen yaprak yaylar “.Itf” uzantısı ile kaydedilebilmektedir.
- II. “Plot” sekmesinden grafikler görülebilmektedir.
- III. “Settings” sekmesinden birim sistemi düzenlenebilmektedir.
- IV. “Run” sekmesinden “leaf” hesaplamaları yapılabilmektedir.



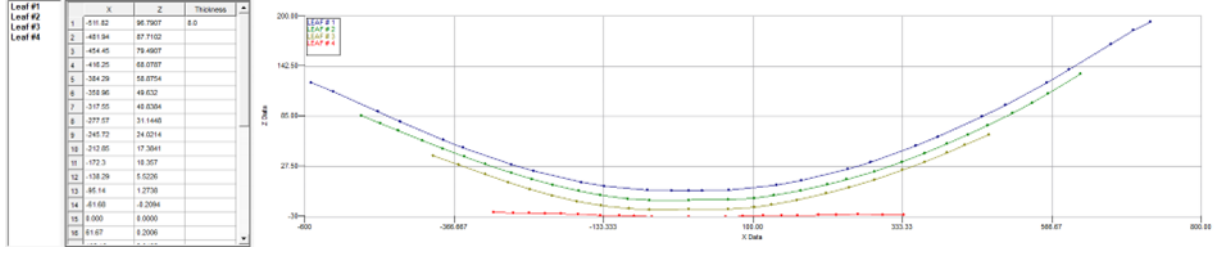
Şekil 2 – Yaprak Yay Oluşturma Aracı (Leaf Spring Editor)

2.1.1. “General” Bölümü

Bu bölümde, yaprak yayın temel fiziksel özellikleri tanımlanabilmektedir. Süspansiyon tasarımında katılık ve sönümlleme gibi kritik parametrelerin ayarlanabilmesini sağlar. “General” kısmı ile ilgili parametrelerin açıklamaları Tablo 1’de gösterilmiştir:

Tablo 1 – “General” Bölümündeki Parametreler ve Açıklamaları

Parametre Adı	Tanım
Number of Leaves	Yaprak yay sistemindeki toplam yaprak sayısını belirtir.
Number of Clips	Yaprakları bir arada tutan kelepçe sayısını gösterir.
Frictional Coefficient	Yapraklar arasındaki sürtünme katsayısını belirtir.
Impact Exponent	Kuvvet karakteristiklerinin üssü olarak darbe seviyesini belirler. Sürtünmeli kontak formülasyonu kullanılır.
Impact Distance	Pozitif bir gerçek sayı olup serbest uzunluğu tanımlar. Belirtilen mesafeden küçük olduğunda pozitif bir kuvvet hesaplanır, aksi takdirde kuvvet sıfır olur.
Impact Stiffness	Yüzeyler arasındaki kontak katılığını belirleyen negatif olmayan bir değişkendir.
Impact Damping Coefficient	Maksimum sönümlleme katsayısını belirleyen negatif olmayan bir değişkendir.
Impact Penetration	Yüzey sınırının ne kadar penetre edileceğini ve tam sönümllemenin hangi noktada uygulanacağını tanımlar.
Leaf Spring Mounting	Yaprak yayın araç içinde nerede monte edileceğini belirler. Adams Car'da montaj konumunu belirler.
Fitting Algorithm	Yaprak yay profili için oluşturulacak fonksiyonun mertebesi seçilir. Genellikle ikinci dereceden denklemler kullanılır.
Beam Formulation	Elemanın uygulayacağı kuvveti tanımlamak için giriş teorisini belirtir. Varsayılan olarak "LINEAR" teorisi kullanılır. Eğer "NONLINEAR" seçilirse, doğrusal olmayan Euler-Bernoulli giriş teorisi kullanılır.



Şekil 3 – Örnek Bir Yaprak Yay Eğrisi

Görseldeki X ve Z dataları, yaprak yay profiliyle ilgili geometrik koordinatları gösterir. Bu veriler, kullanılan yaprak plakaların şeklinin nasıl olduğunu ve sistemde nasıl konumlandığını belirler. X eksen, yaprak yay boyunca uzunlamasına uzanan bir eksenidir. Bu değerler, yaprak yayın belirli noktalarının yatay konumlarını gösterir. Z eksen, yaprak yayın dikey yönündeki eğriliğini gösterir. Bu değerler, yaprak yayın belirli noktalarının yüksekliğini temsil eder. “Thickness” kısmı ise yaprak yayın kalınlık değerini gösterir, bu değer yayın rijitlik ve yük taşıma kapasitesini etkilemektedir.

2.1.2. “Leaves” Bölümü

“Leaves” kısmı her bir yaprak yayın uzunluklarını, kalınlığını, rijitliğini ve diğer mekanik özelliklerini belirlemek için kullanılır.

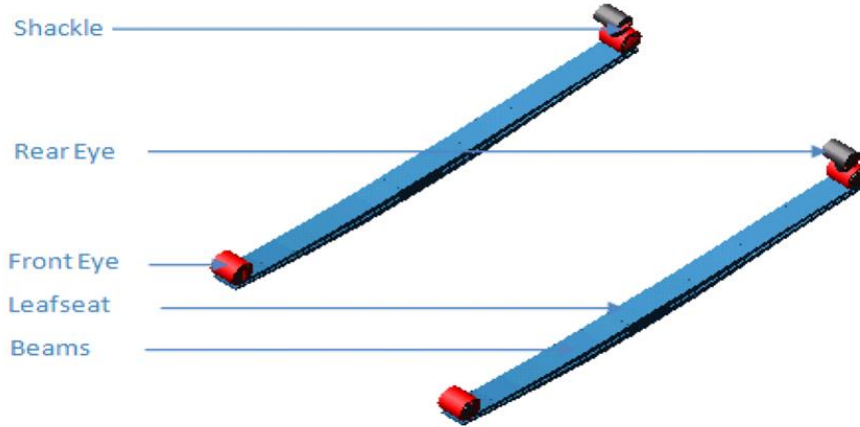
General				
Leaves				
Axle				
Shackle				
Geometry				
Eyehooks				
Bushings				
Clips				
	Leaf 1	Leaf 2	Leaf 3	Leaf 4
Auxiliary Leaf Flag	NotApplicable	No	No	No
Leaf Length Front	650.0	525.0	405.0	317.5
Leaf Length Rear	785.0	635.0	480.0	342.9
Number of Contact Points Front	NotApplicable	2	2	2
Number of Contact Points Rear	NotApplicable	2	2	2
Number of Elements Front	7	5	5	5
Number of Elements Rear	8	6	6	6
Gap Distance Front	NotApplicable	2.54	2.54	0.51
Gap Distance Center	NotApplicable	2.54	2.54	0.51
Gap Distance Rear	NotApplicable	2.54	2.54	0.51
Seat (Leaf Center) Thickness	8.00	8.00	8.0	15.02
Seat (Leaf Center) Width	64.0	64.0	64.0	63.5
Z-offset Leaf	0.0	-10.74	-21.58	-29.90
E-Modulus	200000.0	2.00E5	2.00E5	2.00E5
G-Modulus	79000.0	7.9E4	7.9E4	7.9E4
Density	7.86e-06	7.86E-6	7.86E-6	7.86E-6
Damping Ratio	0.1	0.1	0.1	0.1
ASY	1.2	1.2	1.2	1.2
ASZ	1.2	1.2	1.2	1.2
Fitting Points	Every Point	NotApplicable	NotApplicable	NotApplicable

Şekil 4 – “Leaves” Bölümü İçeriği

Tablo 2 'de yaprak detayları açıklanmıştır:

Tablo 2 – “Leaves” Bölümündeki Parametreler ve Açıklamaları

Parametre Adı	Tanım
Auxiliary Leaf Flag	Yaprak yayın yardımcı bir yaprak olup olmadığını belirler. Yardımcı yapraklar, belirli bir sıkışma noktasında şasiye temas ederek yay paketine destek sağlar. (Leaf 1 için bu seçenek geçerli değildir.)
Leaf Length Front / Rear	Yayın ön ve arka bölümlerinin yay profiline göre tanımlanan yay uzunluğunu (arc length) belirtir.
Number of Contact Points Front / Rear	Yay için ön ve arka temas noktalarının sayısını belirler. Bu noktalar, yay yapraklarının birbirine geçmesini engellemek için kullanılır. Her giriş (beam) elemanı için maksimum iki temas noktası tanımlanabilir.
Number of Elements Front / Rear	Yayın ön ve arka bölümlerinin kaç parçaya bölüneceğini belirler. Bu bölümler, Adams giriş elemanları ile modellenir. Bellek kullanımı açısından her yarım yaprak için maksimum 45 eleman kullanımına izin verilir.
Gap Distance Front / Center / Rear	Bu parametre, tanımlanan yaprak ile üzerindeki yaprak arasındaki boşluğu tanımlar. Merkez boşluk mesafesi, yapraklar arası burçların yerini belirlemek için kullanılır. Ön ve arka boşluk ise temas kuvvetlerinin yerini belirlemek için kullanılır. Bu değerler mm cinsinden ve her zaman pozitif bir sayı olarak tanımlanır.
Seat (Leaf Center) Thickness	$X=0.0$ noktasındaki yaprak kalınlığını tanımlar. Eğer bu değer ile profilin başlangıç kalınlığı farklıysa, bu değer geçerli olur ve bir uyarı mesajı verilir.
Seat (Leaf Center) Width	$X=0.0$ noktasındaki yaprak genişliğini tanımlar.
Z-Offset Leaf	Yaprak profilinin Z ekseninde kaydırılmasını sağlar. Başka bir yaprak profili kopyalanıyorsa, bu değer doğru hizalamayı sağlamak için kullanılır.
E-Modulus	Yaprak yayın malzemesi için Young Modülü (Elastiklik Modülü) değerini belirler.
G-Modulus	Malzemenin kayma modülü (Shear Modulus) değerini tanımlar.
Density	Yaprak yay malzemesinin yoğunluğunu (kg/mm^3) tanımlar.
Damping Ratio	Yapının sönümleme oranını belirler. Adams Solver, rijitlik matrisini bu değer ile çarparak sönümleme matrisini oluşturur.
ASY / ASZ	Timoshenko giriş teorisine göre Y ve Z eksenlerinde kayma deformasyonu için düzeltme faktörlerini belirtir.
Fitting Points	Fitting işlemi için her noktanın kullanılıp kullanılmayacağını belirtir. Eğer '0' seçilirse, ilk ve son noktalar burç noktaları olarak kullanılır ve polinom fit işlemine dahil edilmez.



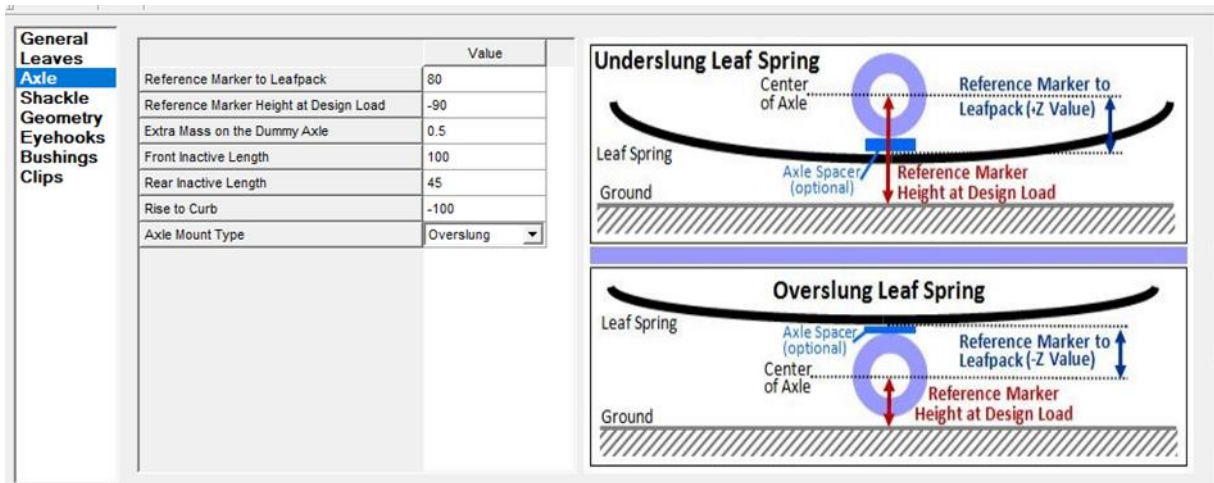
Şekil 5 – Adams İçerisindeki Örnek Bir Yaprak Yayın Parçaları (I)

Yaprak yay kalınlığını artırmak, süspansiyon katılığı artırır. Yaprakların daha kalın olması, araç yük taşıma kapasitesini ve rijitliğini artırır. Daha kalın yaylar, daha az esneme sağlar, bu da sürüş sertliğini etkileyebilir.

Yapraklar arasındaki temas noktalarını artırmak, hesaplama süresini uzatır. Daha fazla temas noktası, süspansiyon sisteminin daha hassas modellenmesini sağlar. Ancak bu durum daha fazla temas noktası ve daha fazla temas kuvveti hesabı gerektirdiğinden simülasyon süresini artırabilir.

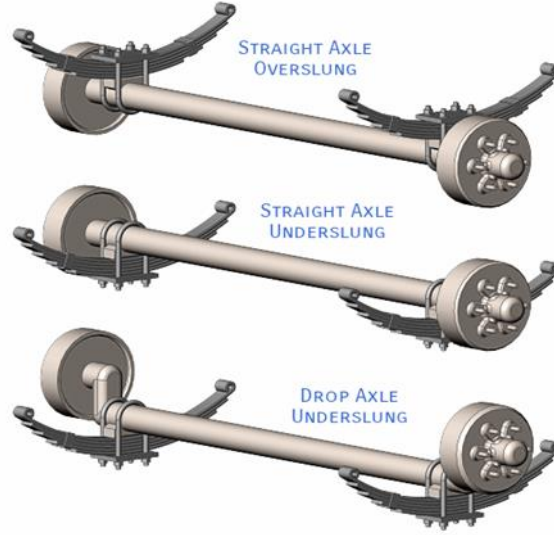
2.1.3. “Axle” Bölümü

Şekil 6 ‘daki alttaki şemada, “Underslung Leaf Spring” modeli gösterilmektedir. Burada mavi ok (Reference Marker to Leafpack), yaprak katmanları ile referans noktası arasındaki mesafeyi gösterirken, kırmızı ok (Reference Marker Height at Design Load), yay sisteminin tasarım yükü altındaki ideal yüksekliğini temsil eder.



Şekil 6 – “Axle” Bölümü İçeriği

Bir altındaki şemada ise “Overslung Leaf Spring” modeli gösterilmektedir. Bu konfigürasyonda yaprak yay, aksın üstüne monte edilmiştir. Benzer şekilde, referans koordinatlar, yay yüksekliği ve montaj konumlarıyla ilgili bilgileri içermektedir.



Şekil 7 - Farklı Tipteki Aks Modelleri

Bu iki farklı montaj türü, araç süspansiyonunun dinamik tepkisini değiştirebilir ve araç tasarımına bağlı olarak farklı yol tutuş ve konfor karakteristikleri sunabilmektedir.

Tablo 3 – “Axle” Bölümündeki Parametreler ve Açıklamaları

Parametre Adı	Tanım
Reference Marker to Leafpack	Aks referans koordinatının dikey (Global Z) yüksekliğini, yaprak profillerini tanımlamak için kullanılan koordinat sistemine göre belirtir. Referans koordinat aks merkezini temsil etmektedir.
Reference Marker Height at Design Load	Yaprak yay tasarım yüküne ulaştığında, referans koordinatın Z eksenindeki yüksekliğidir. Aks bu noktaya ulaştığında simülasyon durdurulur.
Extra Mass on the Dummy Axle	Yay paketini aksa bağlamak için kullanılan ve hesaba katılmayan komponentlerin (U-bolt, spacer gibi) tahmini kütlesidir (kg).
Front/Rear Inactive Length	Yaprak yayın X=0.0 noktasına yakın olan ve "rijit" olarak kabul edilen uzunluklardır.
Rise-to-Curb	Yaprak yayın serbest konumdan yükselme konumuna (rise-to-curb) kadar hareket ettiği sırada simülasyonu durdurmak için kullanılır. Referans koordinatın Z eksenindeki hareketiyle ölçülebilir.
Axle Mount Type	Yaprak yay paketinin aksa nasıl monte edileceğini tanımlar. Aks üstüne (Overslung) veya altına (Underslung) monte edilebilir.

2.1.4. “Shackle” Bölümü

“Shackle” (yay küpesi) kısmında kullanılan esnek eleman uzunluğu, konumu ve pozisyonu, süspansiyonun nasıl hareket edeceğini belirleyebilmektedir. Atalet (inertia), burcun farklı eksenler üzerindeki dönme direncini belirtir. Bu pencereden yaprak yayda kullanılan burçların ayarlamaları yapılabilmektedir.

General	Value
Leaves	
Axle	
Shackle	
Geometry	
Eyehooks	
Bushings	
Clips	
Shackle Length	139.88
Shackle Mass	0.73
Shackle Inertia Ixx	36.7
Shackle Inertia Iyy	881.0
Shackle Inertia Izz	881.0
Shackle Location	Rear
Shackle Position	Compression

Şekil 8 – “Shackle” Bölümü İçeriği

Tablo 4 – “Shackle” Bölümündeki Parametreler ve Açıklamaları

Parametre Adı	Tanım
Shackle Length	Yay küpesinin fiziksel uzunluğunu belirtir. Ölçüm, ön ve arka göz merkezleri arasındaki mesafeden kabul edilir.
Shackle Mass (kg)	Yaprak yay küpesinin kütlesini (kg) belirtir.
Shackle Inertia	Yay küpesinin atalet özelliklerini tanımlar: Ixx, Iyy, Izz (kg·mm ²). Hesaplamalar, yay küpesi düz bir pozisyonda yatay olarak yerleştirildiğinde yapılır. X yönü, küpenin gösterdiği yön olarak kabul edilir.
Shackle Location	Yay küpesinin yaprak yay paketinin önünde mi, arkasında mı olduğunu belirler. Front veya Rear olarak seçilir.
Shackle Position	Yay küpesinin, yay gözüne göre konumuna bağlı olarak nasıl çalışacağını belirtir. Yay küpesinin konumuna göre yay karakteristiği çeki veya bası olarak değişebilir.

2.1.5. “Geometry” Bölümü

Yaprak yayın ön ucunun şasiye bağlandığı yeri ve “shackle” burcun şasiye sabitlendiği konumu gösterir. Konumlandırma ile ilgili gerekli değişiklikler bu bölümden yapılabilmektedir.

General	Left X	Left Y	Left Z	Right X	Right Y	Right Z
Leaves						
Axle						
Shackle						
Geometry						
Front Leaf Eye Bushing	3.8227E+03	-4.9706E+02	7.5000E+02	3.8227E+03	4.9706E+02	7.5000E+02
Shackle to Frame	5.2303E+03	-4.9706E+02	6.4000E+02	5.2303E+03	4.9706E+02	6.4000E+02

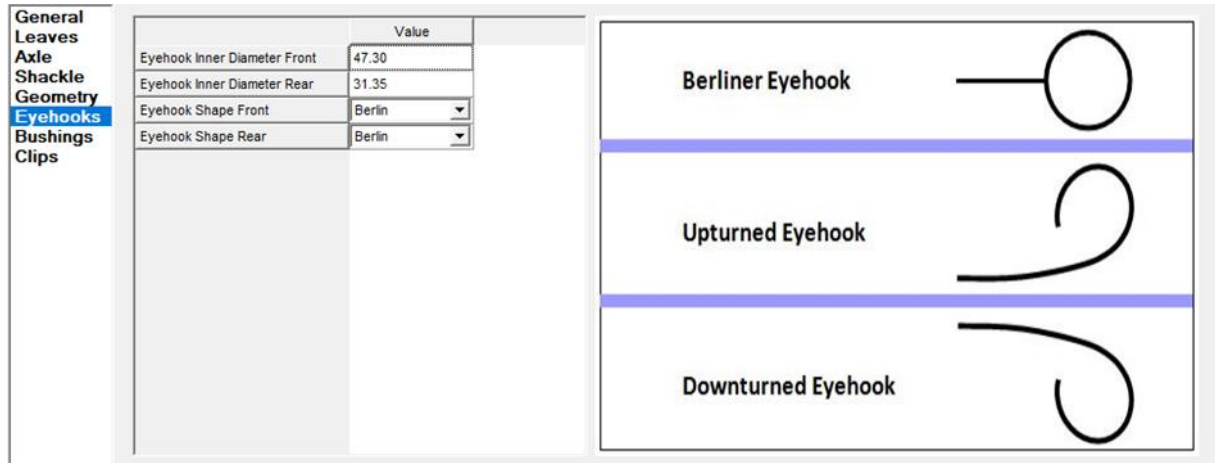
Şekil 9 – “Geometry” Bölümü İçeriği

2.1.6. “Eyehooks” Bölümü

“Eyehook” (yay gözü), yaprak yayın şasiye veya bağlantı noktalarına tutturulmasını sağlayan yuvarlak uçlu bir bağlantı elemanıdır. Bu bölüm, ön ve arka yay gözü bağlantılarının iç çaplarını ve şekillerini tanımlamaya olanak tanır.

Adams içerisinde üç farklı yay gözü bağlantı şekli bulunmaktadır:

- **Berliner Eyehook:** En yaygın kullanılan yay gözü şeklidir. Standart süspansiyon bağlantıları ve burç sistemleri ile uyumludur. Daha fazla rijitlik sağlar.
- **Downturned Eyehook:** Yay gözü bağlantısının aşağı doğru kıvrıldığı bir tasarımıdır. Özellikle düşük profilli süspansiyon sistemlerinde kullanılır. Bazı durumlarda, süspansiyon geometrisine bağlı olarak, yay esnemesini daha verimli hale getirebilir.
- **Upturned Eyehook:** Yay gözü bağlantısının yukarı kıvrıldığı tasarımıdır. Şasiye veya aks bağlantı noktalarına özel tasarlanmış sistemlerde kullanılır. Bazı özel uygulamalarda, süspansiyonun daha fazla esnemesine izin verebilir.



Şekil 10 – “Eyehook” Bölümü İçeriği

Tablo 5 – “Eyehook” Bölümündeki Parametreler ve Açıklamaları

Parametre Adı	Tanım
Eyehook Inner Diameter Front	Ön göz bağlantısının iç çapını belirler. Bağlantının sağlamlığı ve uygun burç ile kullanılabilmesi için kritik bir parametredir.
Eyehook Inner Diameter Rear	Arka göz bağlantısının iç çapını belirler.
Eyehook Shape Front	Ön yay gözü bağlantısının şeklini belirler
Eyehook Shape Rear	Arka göz bağlantısının şeklini belirler.

2.1.7. “Bushings” Bölümü

Burçlar, şasiye veya traverse bağlantıyı sağlar. Travers ile yaprak yay arasındaki burçlar, süspansiyonun rijitliğini ve titreşim sönümleme yeteneğini belirler ve yaprakların birbirine göre bağımsız hareket etmelerini önler. Burçlar bağlantı noktalarında hareketi kontrol eder ve titreşimleri sönümler. Burçların rijitlik ve sönümleme değerlerini değiştirmek, taşıtın yol tutuş ve konfor özelliklerini doğrudan etkileyebilir. Daha düşük rijitlik, süspansiyonun daha esnek olmasına neden olurken, yüksek rijitlik daha sert bir süspansiyon anlamına gelir. (VII)

General Leaves Axle Shackle Geometry Eyehooks Bushings Clips	☐ Fix Joint Leaf-to-Leaf ☐ Use Subsystem for Bushings Subsystem File					
	Leaf-to-Leaf Bushing		Stiffness Rate	Damping Rate	Front Leaf Eye Bushing	
	X		1.0E+09	60.0	X	6500.0
	Y		1.0E+09	60.0	Y	6500.0
	Z		1.0E+09	6.0	Z	630.0
	Rx		1.0E+07	1.1E+05	Rx	3.00E+06
	Rv		1.0E+07	1.1E+05	Rv	3.00E+06
	Rz		1.0E+07	1500.0	Rz	8.14E+04
	Leaf Spring to Shackle Bushing		Stiffness Rate	Damping Rate	Shackle to Frame Bushing	
	X		7000.0	60.0	X	7000.0
	Y		7000.0	60.0	Y	7000.0
	Z		1000.0	6.0	Z	1000.0
	Rx		3.00E+06	1000.0	Rx	1.0E+07
	Rv		3.00E+06	1000.0	Rv	1.0E+07
	Rz		8.14E+04	100.0	Rz	8.14E+04

Şekil 11 – “Bushings” Bölümü İçeriği

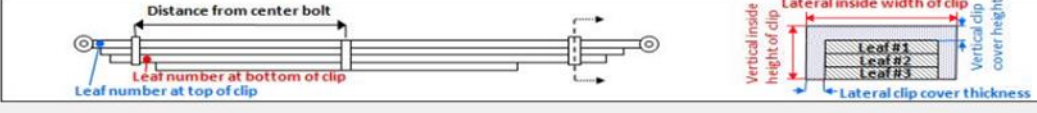
Tablo 6 – “Bushings” Bölümündeki Parametreler ve Açıklamaları

Parametre Adı	Tanım
Leaf-to-Leaf Bushing	Yaprak yayların birbirine bağlandığı X=0.0 noktasındaki bağlantıyı tanımlayan burç parametreleridir. Bu burçlar, yaprak yayların yanal hareketini ve birbirine göre dönmesini önlemek için kullanılır. Yüksek değerler (Translational değerler için yaklaşık 1.0E+09, rotational değerler için 1.0E+07 kullanılabilir.)
Front Leaf Eye Bushing	Yaprak yayın ön kısmındaki burcun öteleme ve dönme yönündeki katılıklarını belirtir.
Leaf Spring to Shackle Bushing	Yaprak yayın arka kısmındaki burcun öteleme ve dönme yönündeki katılıklarını belirtir.
Shackle to Frame Bushing	Yay küpesi ile şasi arasındaki burcun öteleme ve dönme yönündeki katılıkları ile sönümleme katsayısını belirtir. Bu burç, shackle'ın şasiye bağlandığı noktadaki hareketlerini sınırlar.

2.1.8. “Clips” Bölümü

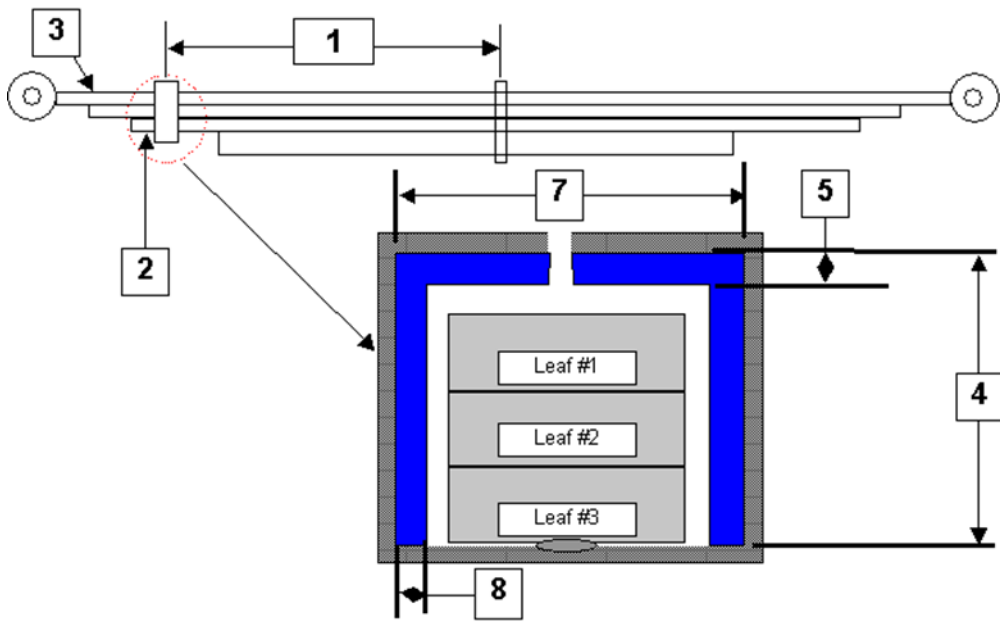
“Clips” (kelepçe), yaprak yay sistemindeki yaprakları bir arada tutan bileşenlerdir. Klipslerin amacı, yaprakların dikey ve yanıl yönde ayrılmasını önlemektir. Klipsler, tekerlek merkezinin önüne, arkasına veya hem önüne hem de arkasına monte edilebilir. Yaprak yay sisteminde, yayların birbirine göre bağımsız hareket etmesini sınırlandırır ve sistemin daha rijit hale gelmesini sağlar.

General Leaves Axle Shackle Geometry Eyehooks Bushings Clips	Distance from Center Bolt	Clip 1	Clip 2
	Leaf Number at bottom of Clip	3	3
	Leaf Number at Top of Clip	1	1
	Vertical Inside Height of Clip	35.00	35.00
	Vertical Clip Cover Height	2.5	2.5
	Vertical Clip Cover Stiffness	10000	10000
	Lateral Inside Width of Clip	86	86
	Lateral Clip Cover Thickness	2.5	2.5
	Lateral Clip Cover Stiffness	10000	10000



Şekil 12 – “Clips” Bölümü İçeriği

Bu bileşenler opsiyonel bağlantılardır ve eğer pencere içerisinde bir kelepçe tanımlanmamışsa, kelepçe tablosu boş kalır. Yaprak yay sistemine kelepçe eklemek için “General” bölümündeki kelepçe sayısı artırılabilir.



Şekil 13 – Örnek Bir Kelepçe Ölçeklendirmesi

3. REFERANSLAR

- i. MSC Software, "Adams Car Documentation: Leaf Spring Analysis," Hexagon, 2020.
<https://nexus.hexagon.com>
- ii. Mechanical Elements. <https://mechanicalelements.com>
- iii. MSC Software, Adams View & Adams Car User Guide, Hexagon, 2021.
- iv. Adams 2024.1 Adams Car User's Guide.
- v. Hexagon Nexus, Leaf Spring Editor. <https://nexus.hexagon.com/Leaf%20Spring%20Editor>
- vi. Eaton Detroit Spring. <https://www.eatondetroit.spring.com>
- vii. Engineering Cheat Sheet. <https://engineeringcheatsheet.com>