

TASARIM PROJESİ DERS NOTLARI

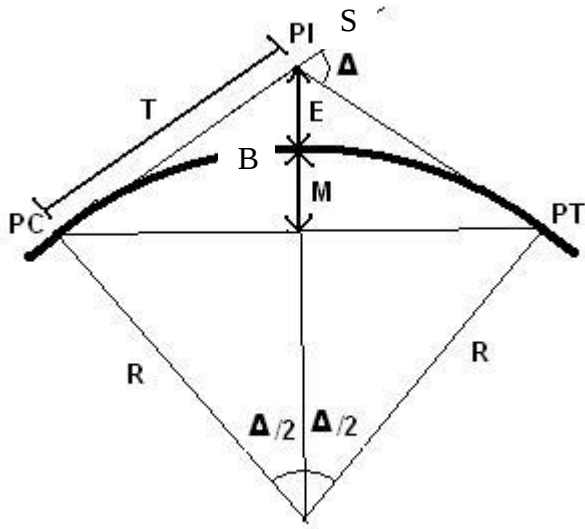
3.BÖLÜM

3 PLANDA YOL

3.1 Yatay Kurplar

- Basit Dairesel Kurplar
- Geçiş Eğrileri

3.1.1 Basit Dairesel Kurplar:



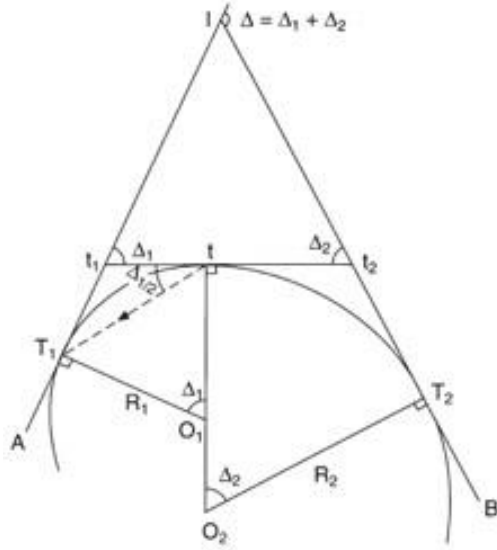
S=PI=Some Noktası
Δ=Sapma Açısı
R=Kırp Yarıçapı
D=PCPT =Developman Boyu
T=PCPI=PIPT=Teğet Boyu
N=PCPT=Kiriş Uzunluğu
B=Bisektris Noktası
E=Bisektris Boyu

$$T = R \times \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$D = R \times \frac{\Delta^g}{\rho^g} = \frac{2 \times \pi \times R}{400^g} \times \Delta^g$$

$$E = B = \frac{R}{\cos \frac{\Delta}{2}} - R = R \times \left(\frac{1}{\cos \frac{\Delta}{2}} - 1 \right)$$

3.1.2 Birleşik Dairesel Kurplar: Ortak teğeti olan ve bu teğetin aynı tarafında bulunan farklı yarıçaplı daire yaylarına denir.

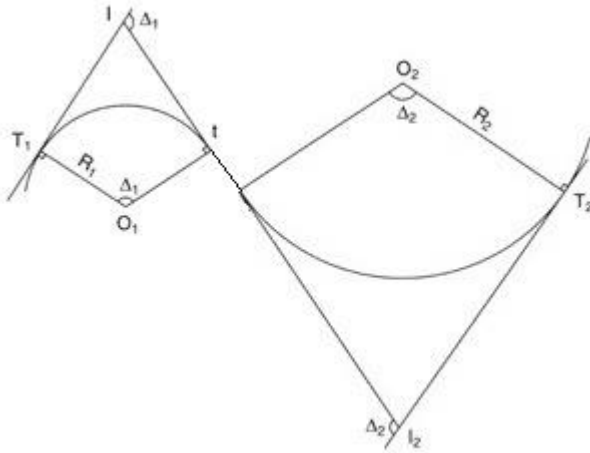


$$R_2 \geq 1.5 \times R_1$$

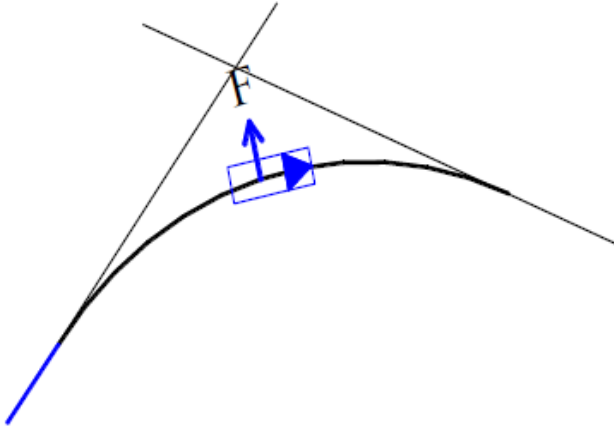
$$T_1 = R_1 \times \tan\left(\frac{\Delta_1}{2}\right)$$

$$T_2 = R_2 \times \tan\left(\frac{\Delta_2}{2}\right)$$

3.1.3 Ters Dairesel Kurplar: Ortak teğeti olan ve bu teğetin iki yanında bulunan daire yaylarına denir. Tasarımda rakordman boylarının iç içe girmemesine dikkat edilmelidir.



3.2 TAŞITLARIN KURPLARDAKİ STABİLİTESİ



Aliynmandan yatay kurba giren bir taşıt, kurbun dışına doğru bir merkezkaç kuvvetine maruz kalır. Taşıta etki eden bu kuvvete merkezkaç kuvveti denir ve taşıt aynı zamanda onun ters istikametinde taşıt ağırlığı ve yol yüzeyi sürtünme katsayısına bağlı olarak sürtünme kuvvetine maruz kalır. Bu kuvvetler etkisinde, taşıtta savrulma veya devrilme durumu oluşmaktadır.

$$F = m \times \frac{v^2}{R} = \frac{W}{g} \times \frac{v^2}{R}$$

W= Taşıtın ağırlığı (kg)

v= Taşıt hızı (m/sn)

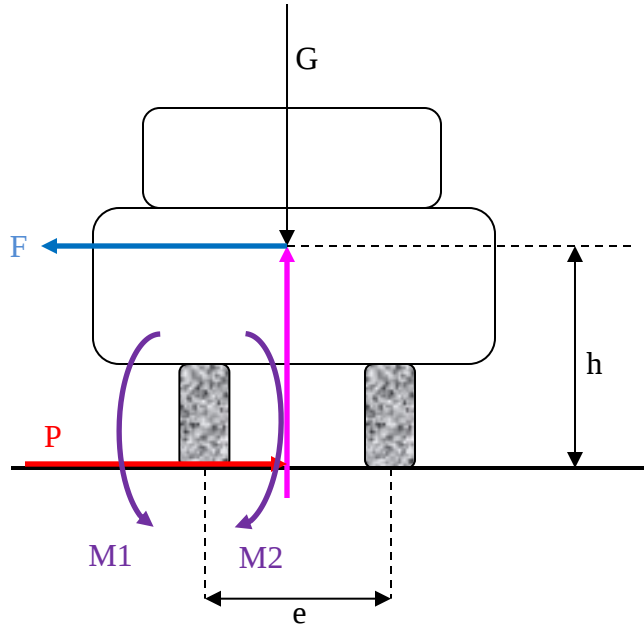
R= Kurp yarıçapı (m)

g= Yerçekimi ivmesi (9.81 m/sn²)

P= Enine sürtünme kuvveti (kg)

μe = Enine sürtünme katsayısı

Yolun Deversiz Olma Hali:



Denge hali için; (savrulma hızı hesabı)

$$F = P = \mu e \times G$$

$$N = G$$

$$\frac{G}{g} \times \frac{v^2}{R} = \mu e \times G$$

$$v = \frac{V}{3.6}$$

$$\left(\frac{V}{3.6} \right)^2 \times \frac{1}{9.81} \times \frac{1}{R} = \mu e$$

Deversiz Yolda Savrulmanın Meydana Geldiği Hız: $V_{sav} = 11.3 \times \sqrt{\mu e \times R}$

$$M_1 = M_2$$

$$F \times h = G \times \frac{e}{2}$$

$$\frac{G}{g} \times \frac{v^2}{R} \times h = G \times \frac{e}{2}$$

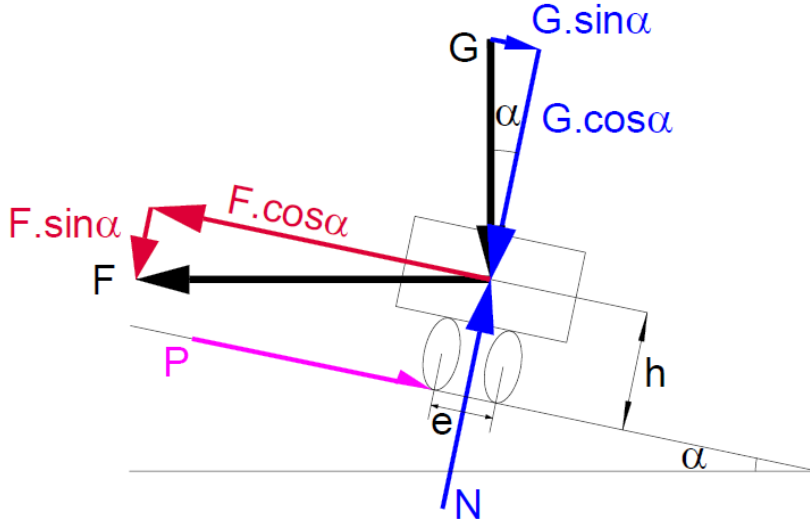
$$\frac{G}{g} \times \frac{v^2}{R} \times h = G \times \frac{e}{2}$$

$$\frac{1}{9.81} \times \frac{V^2}{3.6^2} \times \frac{1}{R} \times h = \frac{e}{2}$$

Deversiz Yolda Devrilmenin Meydana Geldiği Hız: $V_{dev} = 8 \times \sqrt{\frac{R \times e}{h}}$

*Yatay kurplarda karşılaşılan $F_{\text{Merkezkaç}}$ kuvvetinin devrilme etkisi, taşıtın ağırlığının yol yüzeyine değdiği noktadaki $G \times e/2$ momenti ile karşılanır.

Yolun Deverli Olma Hali:



$$P = \mu e \times G$$

$$P = \mu e \times (G \times \cos \alpha + F \times \sin \alpha)$$

$$F = \frac{G}{g} \times \frac{v^2}{R}$$

$$F \times \cos \alpha = P + G \times \sin \alpha$$

$$F \times \cos \alpha = \mu e \times (G \times \cos \alpha + F \times \sin \alpha) + G \times \sin \alpha$$

$$\frac{1}{\cos \alpha} \times \left[\frac{G}{g} \times \frac{v^2}{R} \times \cos \alpha \right] = \left[\mu e \times (G \times \cos \alpha + \frac{G}{g} \times \frac{v^2}{R} \times \sin \alpha) + G \times \sin \alpha \right] \times \frac{1}{\cos \alpha}$$

$$\frac{v^2}{g \times R} = \mu e \times (1 + \tan \alpha \times \frac{v^2}{g \times R}) + \tan \alpha$$

$$g \times \left[\frac{v^2}{g \times R} \right] = \left[\mu e \times (1 + \tan \alpha \times \frac{v^2}{g \times R}) + \tan \alpha \right] \times g$$

$$\frac{v^2}{R} = g \times \mu e + \tan \alpha \times \mu e \times \frac{v^2}{R} + g \times \tan \alpha$$

$$\frac{v^2}{R} - \tan \alpha \times \mu e \times \frac{v^2}{R} = g \times \mu e + g \times \tan \alpha$$

$$\frac{v^2}{R} \times [1 - \tan \alpha \times \mu e] = g \times (\mu e + \tan \alpha)$$

$$V_{sav} = \sqrt{\frac{g \times R \times (\tan \alpha + \mu e)}{1 - \tan \alpha \times \mu e}}$$

$$V_{sav} = 11.27 \times \sqrt{\frac{R \times (\tan \alpha + \mu e)}{1 - \tan \alpha \times \mu e}}$$

$$v = \frac{V}{3.6}$$

$$g = 9.81$$

$\tan \alpha = \text{dever değeri}$

$$\text{deversiz yolda } \tan \alpha = 0 \text{ için } V_{sav} = 11.3 \times \sqrt{R \times \mu e}$$

$$\frac{G}{g} \times \frac{v^2}{R} \times \cos \alpha \times h - G \times \sin \alpha \times h - G \times \cos \alpha \times \frac{e}{2} - \frac{G}{g} \times \frac{v^2}{R} \times \sin \alpha \times \frac{e}{2} = 0$$

$$\frac{v^2}{R} \times (h - \frac{e}{2} \times \tan \alpha) = g \times (h \times \tan \alpha + \frac{e}{2})$$

$$V_{dev} = \sqrt{\frac{g \times R \times (h \times \tan \alpha + \frac{e}{2})}{h - \tan \alpha \times \frac{e}{2}}}$$

$$V_{dev} = 11.27 \times \sqrt{\frac{R \times (h \times \tan \alpha + \frac{e}{2})}{h - \tan \alpha \times \frac{e}{2}}}$$

V_p ' ye göre;

$$R_{\min(sav)} \geq \frac{V_p^2 \times (1 - \mu e \times \tan \alpha)}{127.4 \times (\mu e + \tan \alpha)}$$

$$R_{\min(dev)} \geq \frac{V_p^2 \times (h - e/2 \times \tan \alpha)}{127.4 \times (h \times \tan \alpha + e/2)}$$

Uygulama: Aşağıda verilen bilgilere göre basit daire yarıçaplı bir yolda savrulma ve devrilme hızlarını hesaplayınız.

$$R=150 \text{ m}$$

$$d = \tan \alpha = \%6$$

$$\text{Kamyon için: } h = 1.45 \text{ m}$$

$$e = 1.95 \text{ m}$$

$$\mu = 0.30 \text{ Kuru asfalt için sürtünme katsayısı}$$

$$V_{sav} = 11.27 \times \sqrt{\frac{150 \times (0.30 + 0.06)}{1 - 0.30 \times 0.06}} = 83 \text{ km/sa} \quad \text{Deverli Yolda}$$

$$V_{sav} = 11.27 \times \sqrt{0.30 \times 150} = 75.6 \text{ km/sa} \quad \text{Deversiz Yolda}$$

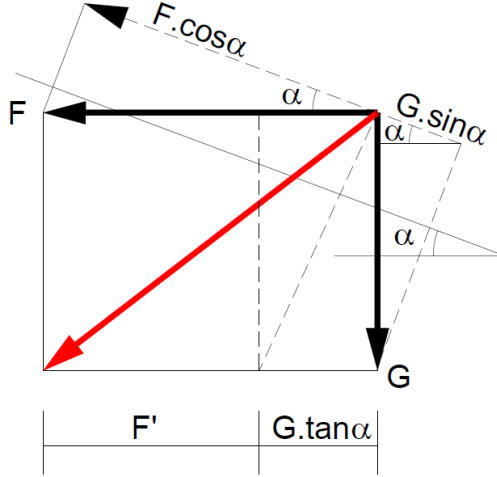
$$V_{dev} = 11.27 \times \sqrt{\frac{150 \times (1.45 \times 0.06 + \frac{1.95}{2})}{1.45 - 0.06 \times \frac{1.95}{2}}} = 120.6 \text{ km/sa} \quad \text{Deverli Yolda}$$

$$V_{dev} = 8 \times \sqrt{\frac{150 \times 1.95}{1.45}} = 113.6 \text{ km/sa} \quad \text{Deversiz Yolda}$$

3.3 ENİNE İVME ve SADEME

Kurp üzerinde seyreden bir taşıt merkezkaç kuvvetinden doğan bir enine ivmeye maruz kalır. Bu ivmeyi oluşturan kuvvetin şekli aşağıdaki gibidir.

Yatay kurpta enine ivme:



Merkezkaç Kuvvetini oluşturan kuvvetler:

$$F = F' + G \times \tan \alpha$$

$F' \rightarrow$ Karşılanamayan kuvvettir.

$$F' = F - G \times \tan \alpha$$

p = Enine ivme değeri (m/sn^2),

v = Taşıt hızı (m/sn),

m = Taşıt kütlesi (kg),

R = Kurp yarıçapı (m),

d = Enine eğim (dever, %)

$$m \times p = m \times \frac{v^2}{R} - m \times g \times \tan \alpha$$

$$d = \tan \alpha = \frac{d}{100}$$

$$p = \frac{v^2}{R} - g \times \frac{d}{100}$$

Enine ivme (m/sn^2) $\rightarrow$

$$p = \frac{v^2}{12.96 \times R} - 0.0981 \times d$$

Kurpta meydana gelen enine ivmenin birim zaman içindeki değişimine “sademe” denir.

$$p' = \frac{dp}{dt} = \frac{p}{t}$$

t= L uzunluğundaki geçiş eğrisinin kat edilmesi gereken zaman olup değeri $t = \frac{L}{v}$ veya

$$t = \frac{3.6 \times L}{V}, \text{ dir.}$$

Buna göre;

$$p' = \frac{p}{t} = \frac{\frac{m}{sn^2}}{\frac{3.6 \times L}{V}} = \frac{m}{sn^3}$$

$$p' = \frac{V^2}{12.96 \times R} \times \frac{V}{3.6 \times L} - 0.0981 \times d \times \frac{V}{3.6 \times L}$$

$$p' = \frac{V^2}{12.96 \times R} \times \frac{V}{3.6 \times L} - 0.0981 \times d \times \frac{V}{3.6 \times L}$$

$$p' = \frac{V^3}{46.7 \times R \times L} - \frac{V \times d}{36.7 \times L}$$

$$p' = \frac{V^3}{46.7 \times R \times L}$$

Sademe seyahat konforunu belirtmede kullanılan bir değerdir. Yapılan gözlemler kurplarda $p' = 0.3 \text{ m} / \text{sn}^3$ değerinden itibaren sademenin hissedildiğini; $p' = 0.4 \text{ m} / \text{sn}^3$ değerinin ise rahatsızlık verdiğini göstermiştir. Geçiş eğrilerinin uzunluğunu tayinde esas alınan sademe için kabul edilen en yüksek değer $p' = 0.6 \text{ m} / \text{sn}^3$ tür.

3.4 EN KÜÇÜK KURP YARIÇAPI

Deverli bir kurpta taşıtın maruz kaldığı merkezkaç kuvveti ile bunu dengeleyen kuvvetler arasındaki mevcut bağıntı

$$F \times \cos \alpha = P + G \times \sin \alpha$$

$$F \times \cos \alpha = \mu e \times (G \times \cos \alpha + F \times \sin \alpha) + G \times \sin \alpha$$

$$\frac{v^2}{g \times R} = \tan \alpha + \mu e + \underbrace{\mu e \times \frac{v^2}{g \times R} \times \tan \alpha}_{ihmal}$$

$$d = \tan \alpha$$

$$\frac{v^2}{g \times R} = d + \mu e$$

$$\frac{V^2}{127 \times R} = d + \mu e \rightarrow \text{Merkezkaç kuvvetinin etkisi dever ve enine sürtünme katsayısı ile karşılanır.}$$

Enine sürtünme katsayısı; μe ; yol yüzeyi kaplamasının cinsine, kuru veya ıslak oluşuna, taşıt lastiğinin yenilik derecesine ve taşıt hızına göre değişiklik göstermektedir. Bu değer kuru yollarda 0.40~0.50 arasında değişen bir değer alır. Güvenli tarafta kalınması açısından, hesaplarda daha düşük olan değer seçilmektedir.

AASHTO' da hıza bağlı olarak enine sürtünme katsayısı şu şekilde verilmektedir.

Proje Hızı (km/sa)	50	70	90	100	110	120
Enine Sürtünme Katsayısı	0.16	0.15	0.13	0.13	0.12	0.12

3.5 DEVER

Enine sürtünmeyi dikkate almadan, kurpta taşıtın maruz kaldığı merkezkaç kuvvet etkisinin tamamen enine eğim (dever) ile karşılanması istenilen durumlarda enine ivme sıfır demektir. Bu şekilde elde edilen enine eğime **teorik dever** denir.

$$p = \frac{v^2}{12.96 \times R} - 0.0981 \times d = 0$$

$$V = V_p$$

$$d_{teorik} = 0.00786 \times \frac{V_p^2}{R}$$

Ancak, deverin belli bir değerinden sonra kurp içinde duruş veya yavaşlama halinde taşıtlar için; kurp içine doğru kayma veya devrilme tehlikesi oluşur. Bu yüzden, dever için güvenlik açısından kabul edilebilecek bir üst sınır vardır. Eğer bu etkinin yarısının dever, yarısının enine sürtünme katsayısı ile karşılanacağı varsayılırsa;

$$d = (0.00786 \times 0.50) \times \frac{V_p^2}{R}$$

$$d_{pratik} = 0.00393 \times \frac{V_p^2}{R}$$

Türkiye’ de dever değerini hesaplamada kullanılan bağıntı aşağıdaki gibidir.

$$d_{pratik} = 0.00443 \times \frac{V_p^2}{R}$$

3.5.1 DEVERİN UYGULANMASI

3.5.1.1 Geçiş Eğrisiz Kurplar için Dever Uygulaması:

Türkiye’ de KGM tarafından kullanılan dever bağıntısı aşağıdaki gibidir.

$$d_{pratik} = 0.00443 \times \frac{V_p^2}{R}$$

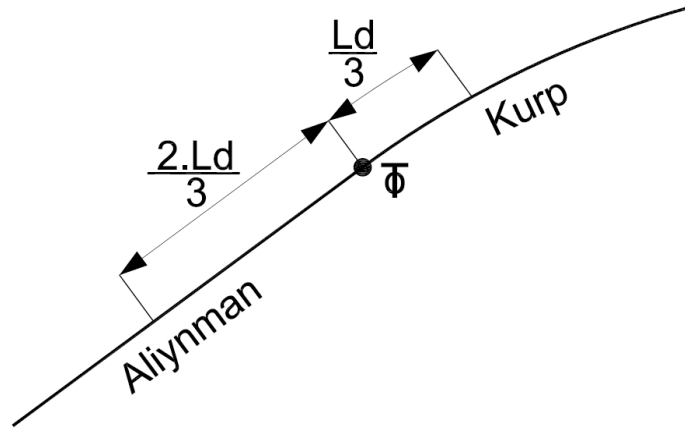
Deverin Uygulanacağı Uzunluk (Rakordman Boyu)

$$L_d = 0.0354 \times \frac{V_p^3}{R}$$

$$L_{d(\min)} = 45 \text{ m}$$

$$L_{d(\min)} \geq 45 \text{ m}$$

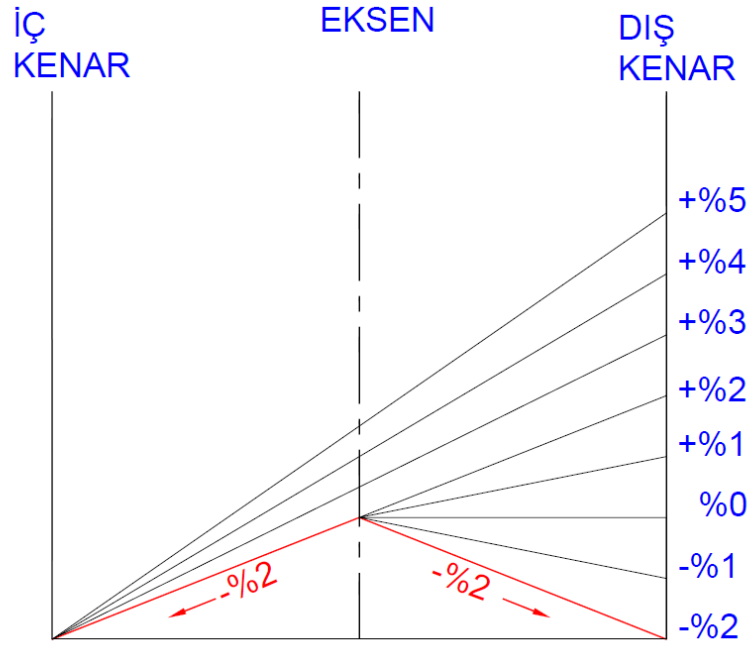
$\frac{2}{3} L_d = \text{Aliynmanda}$, $\frac{1}{3} L_d = \text{Kurp içinde uygulanır}$.



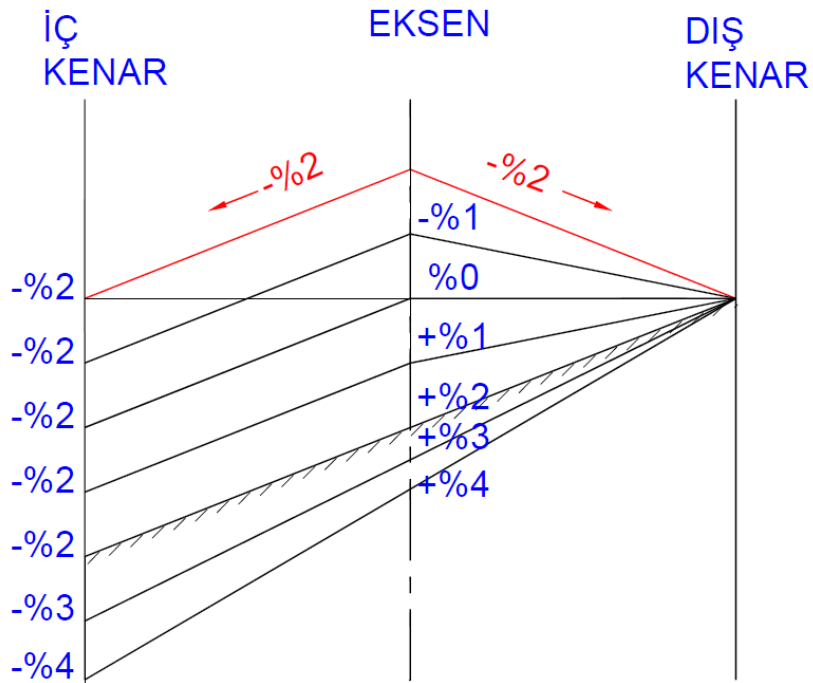
Değer uygulaması 3 şekilde yapılır.

3.5.1.1.1 İÇ KENAR ROTASYONU

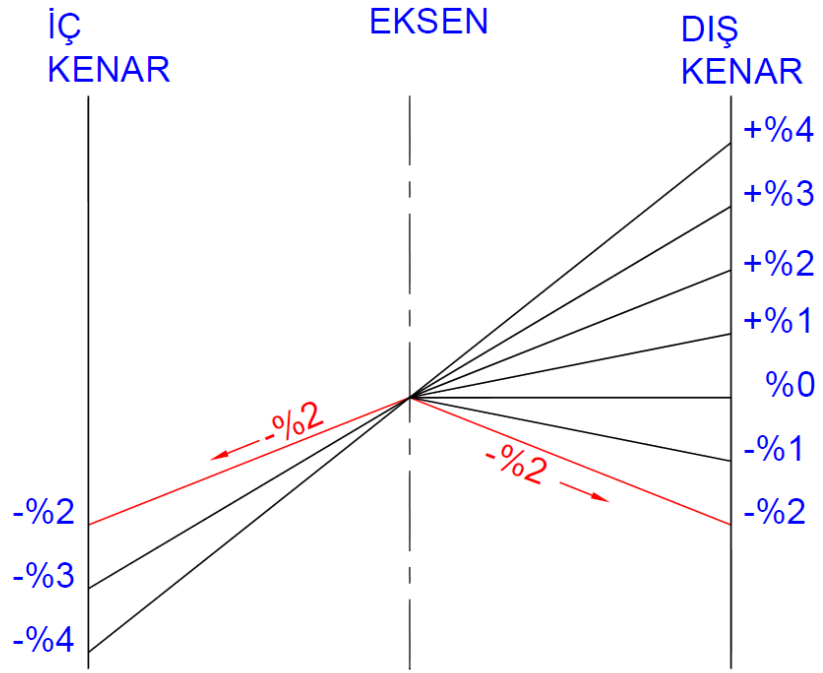
Bu uygulamada iç kenar sabit alınarak eksen ve dış kenar yukarı doğru hareket ettirilir.



3.5.1.1.2 DIŞ KENAR ROTASYONU



3.5.1.1.3 EKSEN ROTASYONU



3.6 GEÇİŞ EĞRİLERİ

V hızı ile hareket eden bir taşıtın alıymmandan kurbaya girişinde veya bir kurptan eğrilik yarıçapı farklı bir diğer kurbaya girişinde ani bir merkezkaç kuvveti doğar. Taşıtı kurbanın dışına doğru savurma ve devirme etkisi gösteren bu kuvveti dengelemek üzere kurbaya girişte dever uygulamasının yanında alıymman ile kurba arasına bir geçiş eğrisi yerleştirilir.

Enine kuvvet, taşıta ve içindeki yolculara ani olarak etkilemektedir.

Enine yönde beliren bu kuvvetin etkisinin;

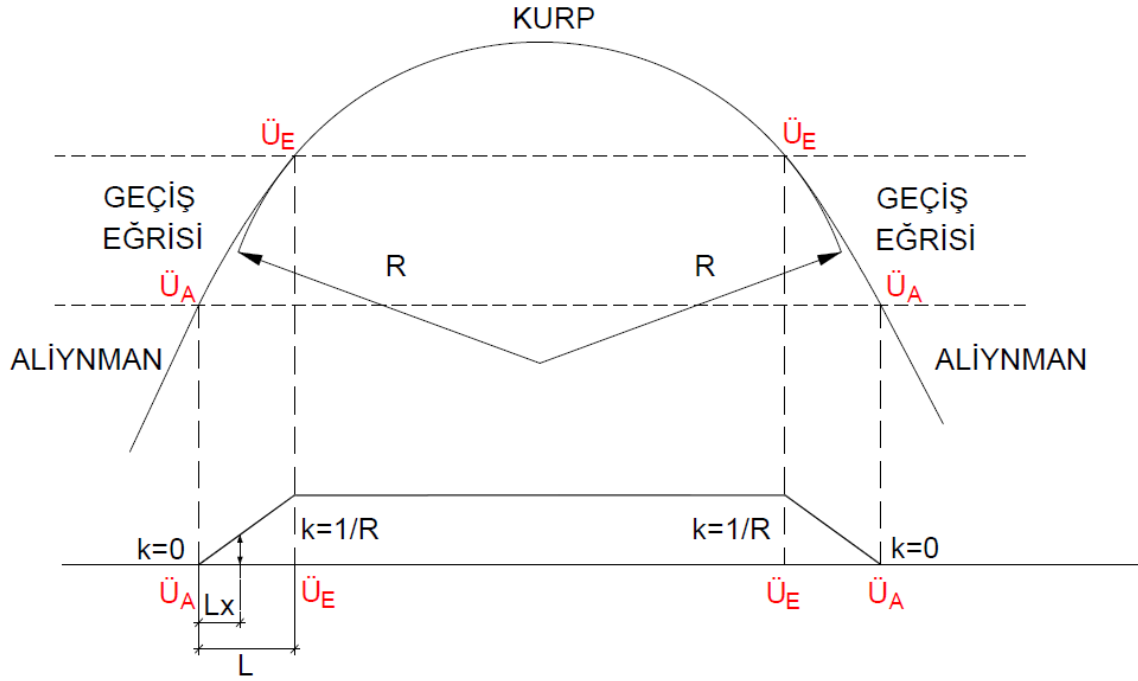
- a. Anilik özelliğinin dengelenmesi
- b. Hareketli olan cismin (taşıtın) birim kütesine isabet eden payının belli bir zaman dilimine yayılmasının sağlanması için alıymman ile yatay kurp dairesi arasına bir geçiş eğrisi uygulanır. Bu sayede, merkezkaç kuvveti bu eğri boyunca dağıtılır.

Geçiş Eğrisinin Özellikleri:

- Geçiş eğrisi, hem alıymmandaki eksen çizgisine hem de kurp içindeki eksen dairesine teğettir.
- Geçiş eğrisinin alıymmanda teğet olduğu noktaya $\ddot{U}_A$ denir. $\ddot{U}_A'$ da eğrilik yarıçapı sonsuzdur. Yatay kurba teğet olduğu noktaya $\ddot{U}_E$ denir ve eğrilik yarıçapı kurban yarıçapı olan R' ye eşittir.
- Motorlu taşıtın direksiyonu kurba girişte $\ddot{U}_A$ noktasından itibaren (Ψ) sabit açısal hızı ile döndürülerek, $\ddot{U}_E$ noktasında kurp yarıçapı R' ye karşılık gelen en büyük dönüş açısını getireceğinden; geçiş eğrisi üzerinde eğrilik yarıçapları $\ddot{U}_A$ noktasından itibaren lineer olarak azalarak $\ddot{U}_E$ noktasında R' ye eşit olmalıdır.
- Geçiş eğrisi üzerinde iken taşıt, alıymman ve kurpta sahip olduğu hızı koruyabilmelidir.

Bir ucu alıymmana bir ucu dairesel kurbaya teğet olan geçiş eğrisi aşağıdaki iki ana koşulu sağlamalıdır.

- Taşıt bu eğri üzerinde iken sabit bir V hızı ile yoluna devam edebilmelidir.
- Taşıtın direksiyonu bu eğri üzerinde sabit bir $\Delta\Psi$ açısal hızı ile döndürüldüğünde esas dairesel kurbaya giriş anında en büyük dönüş açısına ulaşılmalıdır.



Geçiş eğrisi üzerinde taşıt direksiyonunun her bir dönme açısına belirli bir eğrilik miktarı karşılık gelir.

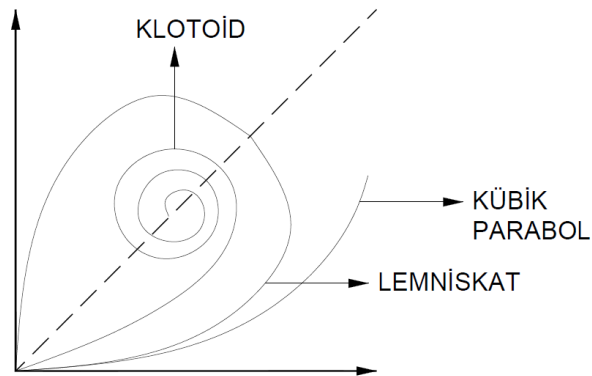
L: Geçiş eğrisi uzunluğu

Ü_A başlangıcından itibaren L_x noktasına ait eğrilik: $\frac{L_x}{L} = \frac{x}{k} \rightarrow x = \frac{k}{L} \times L_x$

Ü_E bitiş noktasındaki eğrilik: $k = \frac{1}{R}$ ise $\rightarrow k = \frac{L_x}{L \times R}$

$L \times R$ Çarpımının sabit bir değer oluşu dikkate alınırsa; geçiş eğrisi boyunca eğrilik lineer bir artış gösterecek demektir. Belirtilen bu özelliği taşıyan başlıca eğri tipleri; klotoid ve lemniskat'

tır. Ayrıca; $y = \frac{x^3}{6 \times c}$ bağıntısının gösterdiği kübik parabol eğrisi de kullanılabilir.



Geçiş Eğrisinin Uzunluğu:

Geçiş eğrisinin uzunluğu saptanırken, hareket dinamiği ile ilgili olmak üzere; kurbayı geçişte taşıtın maruz kaldığı sademenin belirli bir değeri aşmaması ilkesi korunur. Taşıt birleştirme eğrisine girerken, maruz kaldığı ivme sıfır; çıkışında $\frac{v^2}{R}$ enine ivme değerine ulaşır. İvmedeki bu değişim $t = \frac{L}{v}$ süresi içinde olduğuna göre; enine ivmenin birim zamandaki değişimi olan sademe değeri;

$$p' = \frac{p}{t} = \frac{\frac{v^2}{R}}{\frac{L}{v}} = \frac{v^3}{R \times L} \quad v(m/sn) = \frac{V(km/sa)}{3.6}$$

$$p' = \frac{V^3}{46.7 \times R \times L}$$

$$L = \frac{V^3}{46.7 \times R \times p'}$$

$$p' = 0.4 m/sn^3$$

$$L = \frac{V^3}{18.7 \times R}$$

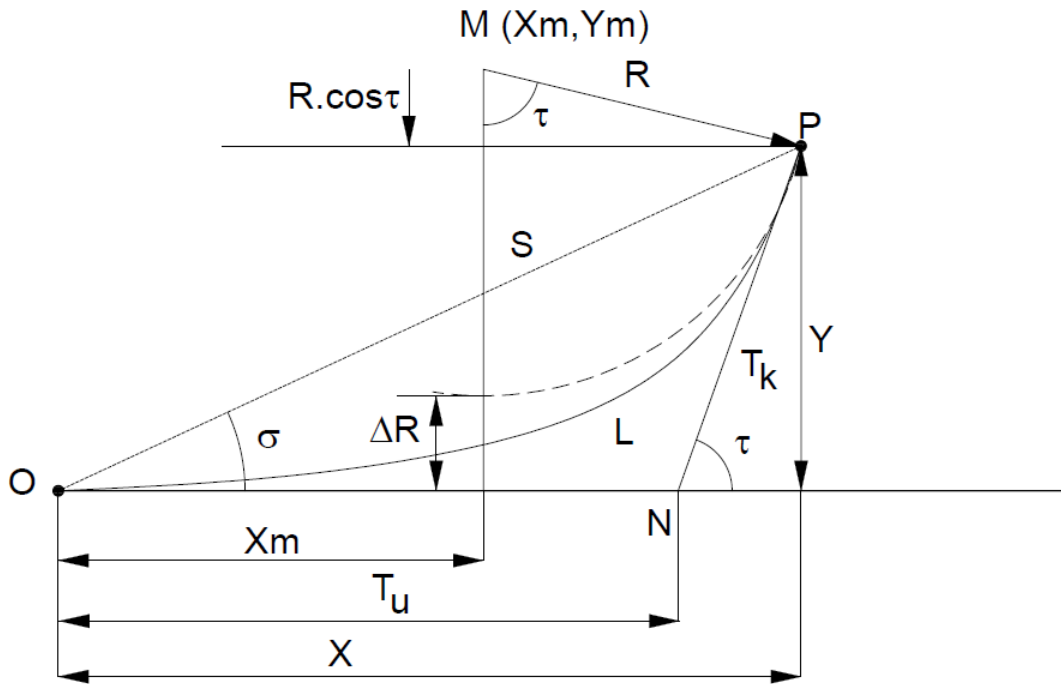
3.6.1 KLOTOİD

Eğrinin herhangi bir yerinde eğrilik yarıçapı R , eğrinin başlangıç noktasından dikkate alınan noktasına kadar olan uzunluk L , olmak üzere;

$$R \times L = A^2$$

A = Klotoid Parametresi

Bir bağıntı mevcuttur. Buradaki A parametresinin değişimi klotoid eğrisinin büyüklüğünün değişimine neden olmaktadır. Yani, klotoidin bir tek şekli fakat parametre değişimine bağlı olarak farklı büyüklükleri vardır. Klotoid bir spiraldir. Her noktasındaki eğriliği farklı olan bu eğrinin, geçiş eğrisi olarak kullanılacak kısmı başlangıçtan itibaren belli bir uzunluktur.



O = Klotoidin başlangıç noktası

P = Klotoidin son noktası

$X, Y = P$ noktasının koordinatları

X_m, Y_m = Eğrilik merkez noktasının koordinatları

$$N_P : T_K = \text{Kısa teğet boyu}$$
$$N_O : T_U = \text{Uzun teğet boyu}$$
$$\Delta R = \text{Rakordman payı}$$

Klotoidte dikkate alınan bir noktadaki teğetin yatay eksenle yaptığı τ açısı ise; bu açının radyan değeri:

$$\tau = \frac{L}{2 \times R}$$

$$\tau^g = \tau_{RAD} \times 63.6620$$

$$\tau^o = \tau_{RAD} \times 57.2958$$

3.6.1.1 KLOTOİD ELEMANLARI HESABI

$$A^2 = L \times R$$

$$A = \sqrt{L \times R}$$

$$X = L - \frac{L^5}{40 \times A^4} + \frac{L^9}{3456 \times A^8} - \dots$$

$$Y = \frac{L^3}{6 \times A^2} - \frac{L^7}{336 \times A^6} + \frac{L^{11}}{42240 \times A^{10}} - \dots$$

$$X_m = X - R \times \sin \tau$$

$$Y_m = Y + R \times \cos \tau$$

$$T_K = \frac{Y}{\sin \tau}$$

$$T_U = X - Y \times \cot g \tau$$

$$\Delta R = Y_m - R = Y - R \times (1 - \cos \tau)$$

$$S = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

$$\tan \sigma = \frac{Y}{X}$$

$$\sigma = \arctan \frac{Y}{X}$$

$$\tau = \frac{L}{2 \times R} \text{ (radyan)}$$

$$\alpha = \Delta - 2 \times \tau$$

$$D = R \times \frac{\alpha}{\rho}$$

$$t = (R + \Delta R) \times \tan \frac{\Delta}{2}$$

$$T = X_m + t$$

3.6.1.2 A KLOTOİD PARAMETRESİNİN SEÇİMİ KONTROL KRİTERLERİ

1- **Konfor Şartı:** $p' = 0.4 \text{ m} / \text{sn}^3$ sademe değerine göre:

$$L = \frac{V^3}{46.7 \times R \times p'}$$

$$p' = 0.4 \text{ m} / \text{sn}^3$$

$$L = \frac{V^3}{18.7 \times R} \rightarrow \text{Geçiş eğrisi uzunluğu bulunur.}$$

$A^2 = L \times R \rightarrow$ A Klotoid parametresi hesaplanır. (100~200 arasında bir değer seçilir, küsuratlı bir değer seçilmez)

A seçilen parametre değeri için L eğri boyu hesaplanır.

2- **Optik Uygunluk:**

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R \rightarrow \text{Seçilecek A klotoid parametresi için bir aralık değer belirlenir.}$$

3- **Dinamik Koşul:**

$$A_{\min} = 0.17 \times \sqrt{V_p^3} \rightarrow \text{Seçilecek A klotoid parametresi değeri bu değerden az olamaz.}$$

4- **Dever Koşulu:**

$$A_{\min} = \sqrt{\frac{B}{n} \times R \times \frac{(d + d_{\min})}{0.005}}$$

B = Platform genişliği (m)

n = Şerit sayısı

$d_{\min}$ = %2 çatı eğim

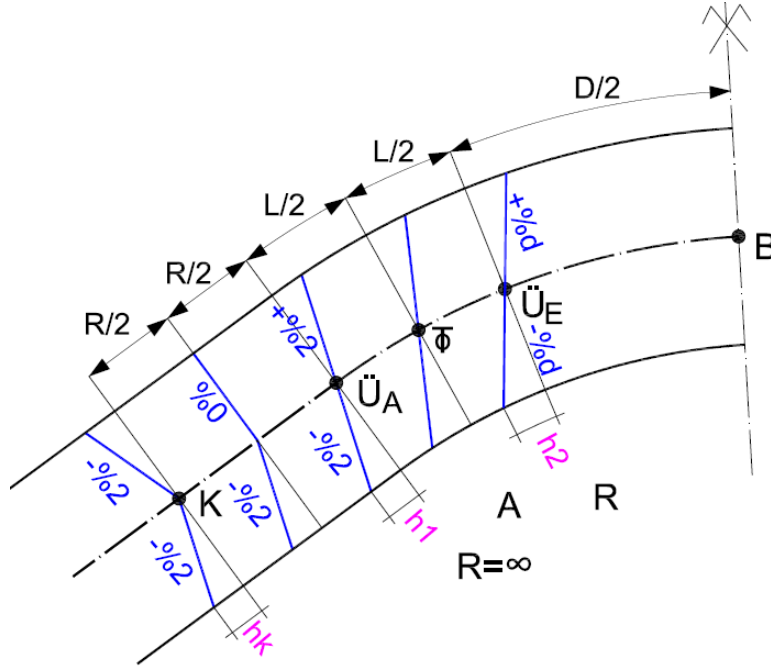
d = Kurpta uygulanan enine eğim

3.6.2 DEVERİN UYGULANMASI

Geçiş Eğrili Kurplar için Dever Uygulaması:

$$d = 0.00443 \times \frac{V_p^2}{R} \leq d_{\max}$$

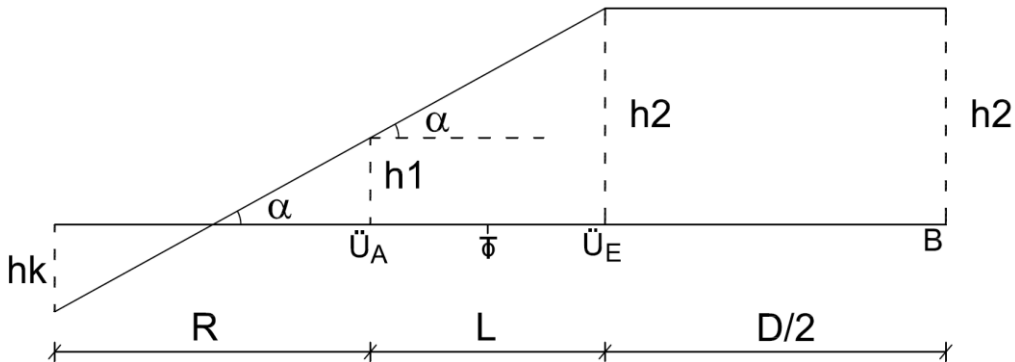
Eksen Rotasyonu:



$$h_k = -0.02 \times \frac{B}{2}$$

$$\dot{ÜA} \rightarrow h_1 = d_0 \times \frac{B}{2} = 0.02 \times \frac{B}{2}$$

$$\dot{ÜE} \rightarrow h_2 = d \times \frac{B}{2}$$



$$\tan \alpha = \frac{h_2 - h_1}{L}$$

$$\tan \alpha = \frac{h_1}{R/2}$$

$$\frac{h_2 - h_1}{L} = \frac{h_1}{R/2}$$

$$\frac{R}{2} \cdot (h_2 - h_1) = \frac{h_1}{R/2}$$

$$R = \frac{2 \cdot h_1 \cdot L}{(h_2 - h_1)} \rightarrow \text{Rampa Boyu}$$