



**KARAYOLU VE DEMİRYOLU GEÇKİ
TASARIMLARINDA SADEME SINIR
DEĞERLERİNE GÖRE EN KÜÇÜK YATAY
KURP YARIÇAPLARININ BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet Sami KILINÇ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Tamer BAYBURA

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ocak 2017

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KARAYOLU VE DEMİRYOLU GEÇKİ TASARIMLARINDA
SADEME SINIR DEĞERLERİNE GÖRE EN KÜÇÜK YATAY
KURP YARIÇAPLARININ BELİRLENMESİ**

Ahmet Sami KILINÇ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Tamer BAYBURA

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

Ocak 2017

TEZ ONAY SAYFASI

Ahmet Sami KILINÇ tarafından hazırlanan “Karayolu Ve Demiryolu Geçki Tasarımlarında Sademe Sınır Değerlerine Göre En Küçük Yatay Kurp Yarıçaplarının Belirlenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 20.01.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Tamer BAYBURA

İmza

Başkan : Prof. Dr. Reha Metin ALKAN
Hitit Üniversitesi, Rektörlük

Üye : Doç. Dr. Tamer BAYBURA
Afyon Kocatepe Ü., Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU
Afyon Kocatepe Ü., Mühendislik Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım
bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

20.01.2017

Ahmet Sami KILINÇ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KARAYOLU VE DEMİRYOLU GEÇKİ TASARIMLARINDA SADEME SINIR DEĞERLERİNE GÖRE EN KÜÇÜK YATAY KURP YARIÇAPLARININ BELİRLENMESİ

Ahmet Sami KILINÇ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Tamer BAYBURA

Ulaşım sistemlerinde kullanılan yatay kurplar güzergâhın kritik kesimlerini oluşturmaktadır. Yatay kurpların tasarımı aşamasında güzergâh konforunun artırılması ve güvenliğinin sağlanması amacıyla üzerinde durulması gereken önemli bir konu en küçük kurp yarıçaplarının belirlenmesidir. Geçki yatay geometrisinin tasarımı aşamasında, belirlenen en küçük kurp yarıçaplarından küçük yarıçaplar kullanılamaz. Bu nedenle minimum kurp yarıçapları tasarım açısından dikkate alınması gereken en önemli sınır değerlerden birisidir. Tasarım kistası olarak kullanılacak en küçük yatay kurp yarıçapı; dever sınır değerleri, görüş uzunlukları, yanal ivme sınır değerleri ve yanal sademe sınır değerleri temel alınarak türetilir. Geçki geometrisini konfor açısından değerlendirme ölçütü sademedir. Güvenlik ve konfor açısından kurp tasarımlarında sademe kistasının dikkate alınması son derece önemlidir. Bu çalışmada sademe kistası dikkate alınarak, tasarım ölçütü olarak kullanılacak en küçük yatay kurp yarıçapları hesaplanmıştır. Sademe kistası ile hesaplanan kurp yarıçapları ile diğer kistaslara göre hesaplanan kurp yarıçapları karşılaştırılmış ve yol-araç dinamiğine uygun, konforlu ve güvenli ulaşımı sağlayacak en uygun kurp yarıçapları önerilmiştir.

2017, x + 87 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sademe, İvme, Ulaşım, Geçki Geometrisi, Kurp, Araç Dinamiği, Konfor, Merkezkaç Kuvveti

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINATION OF MINIMUM CURVE RADIUS DEPENDING ON THE LIMIT VALUES OF JERK IN THE GEOMETRIC DESIGNS OF HIGHWAY AND RAILWAY

Ahmet Sami KILINÇ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Tamer BAYBURA

Horizontal curves used in transportation systems are the critical sections on the alignment. An important issue to be addressed in order to increase road safety and comfort during the design of horizontal curves is determination of the minimum curve radius affected by many factors. While designing of horizontal alignment, value smaller than the calculated boundary value of minimum curve radius cannot be used. Therefore, one of the most important boundary values which should be considered in terms of design is the minimum curve radius. Minimum curve radius which is used as design criterion on the horizontal alignment can be derived on the basis of sight lengths, the limit values of superelevation, the limit values of lateral acceleration and the limit values of Jerk (rate of change of acceleration). Evaluation criterion of the alignment geometry in terms of comfort is Jerk. During the curve design, to take into account of Jerk criterion in terms of road safety and comfort is extremely important. In this study, minimum curve radius used as design criterion is calculated to take into account of Jerk criterion. Minimum curve radius depend on the limit value of lateral Jerk are compared with the minimum curve radius depend on the other criteria and the optimal curve radius are proposed to provide comfortable and safe transportation in accordance with the road-vehicle dynamics.

2017, x + 87 pages

Keywords: Jerk (Change of Acceleration), Acceleration, Transportation, Alignment Geometry, Curve, Vehicle Dynamics, Ride Comfort, Centrifugal Force

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, mesleki ve akademik olarak desteğini her zaman hissettiğim tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Tamer BAYBURA'ya yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatım boyunca desteklerini her zaman hissettiğim aileme, her an yanımda olarak varlığıyla bana güç veren sevgili eşim Sevda Hanım'a ve gülücükleriyle en zor anlarımı neşeyle dolduran biricik oğlum Alper Kaan'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ahmet Sami KILINÇ
AFYONKARAHİSAR, 2017

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. YOL-ARAÇ KİNEMATİĞİ.....	5
2.1 Hız ve Hareket	6
2.2 İvme ve Hareket.....	7
2.3 Hareket Halindeki Bir Taşıta Etki Eden İvmeler ve Bileşke İvme.....	9
2.3.1 Yer Çekim İvmesi	9
2.3.2 Teğetsel İvme (a'_T).....	10
2.3.3 Düşey Geometri Merkezkaç İvmesi ($a_{M,D}$)	10
2.3.4 Yatay Geometri Merkezkaç İvmesi ($a_{M,Y}$)	12
2.3.5 Yanal İvme (a_Y)	13
3. YANAL SADEME	15
4. GEOMETRİK STANDARTLAR VE SEÇİMİ.....	19
5. YATAY GEÇKİ GEOMETRİSİ	23
5.1 Aliyman Tasarımı	24
5.2 Yatay Kurp Tasarımı.....	27
6. MİNİMUM KURP YARIÇAPI VE HESABI.....	32
6.1 Dever Sınır Değerlerine Göre Minimum Yatay Kurp Yarıçapı Hesabı.....	34
6.1.1 Karayolları İçin Dever Sınır Değerlerine Göre Minimum Yatay Kurp Yarıçapı Hesabı.....	36
6.1.2 Demiryolları İçin Dever Sınır Değerlerine Göre Minimum Yatay Kurp Yarıçapı Hesabı.....	38
6.2 Yanal İvme Sınır Değerlerine Göre Minimum Yatay Kurp Yarıçapı Hesabı.....	41
6.2.1 Karayolları İçin Yanal İvme Sınır Değerlerine Göre Minimum Yatay Kurp	

Yarıçapı Hesabı.....	42
6.2.2 Demiryolları İçin Yanal İvme Sınır Değerlerine Göre Minimum Yatay Kurp	
Yarıçapı Hesabı.....	44
6.3 Sademe Sınır Değerlerine Göre Minimum Kurp Yarıçapının Hesabı	46
6.3.1 Karayolları İçin Yanal Sademe Sınır Değerlerine Göre Minimum Yatay Kurp	
Yarıçapı Hesabı.....	47
6.3.2 Demiryolları İçin Yanal Sademe Sınır Değerlerine Göre Minimum Yatay	
Kurp Yarıçapı Hesabı.....	51
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	59
8. KAYNAKLAR	65
EKLER	69
ÖZGEÇMİŞ.....	86

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

a_{ort}	: Aracın ortalama ivmesi (m/s^2)
$a_{M,D}$	: Geçki düşey eğriliğinin sebep olduğu merkezkaç ivmesi (m/s^2)
$a_{M,Y}$	: Geçki yatay eğriliğinin sebep olduğu merkezkaç ivmesi (m/s^2)
a_T	: Aracın hızının büyüklüğünü değiştiren bileşke teğetsel ivme (m/s^2)
a_Y	: Yanal ivme (m/s^2)
b	: Yol platformu eğik genişliği – demiryollarında sabit hat genişliği (m)
D	: Developman Uzunluğu (m)
g	: Yer çekim ivmesi ($9,81 m/s^2$)
$k_D = \frac{1}{R_D}$	: Düşey geometri eğriliği (1/m)
$k_Y = \frac{1}{R_Y}$	: Yatay geometri eğriliği (1/m)
$k_D(l)$	: Geçki düşey eğriliğinin yola bağlı değişimi
$k_Y(l)$	: Geçki yatay eğriliğinin yola bağlı değişimi
l_A	: A noktasındaki geçki yatay uzunluğu (m)
l_B	: B noktasındaki geçki yatay uzunluğu (m)
l	: Geçkinin yatay izdüşüm uzunluğu (m)
R_D	: Düşey geometri eğrilik yarıçapı (m)
R_Y	: Yatay geometri eğrilik yarıçapı (m)
R	: Yarıçap (m)
T	: Zaman (s)
t	: Teğet Uzunluğu (m)
Δt	: Aracın ilk konumu ile son konumu arasında geçen zaman farkı (s)
u_{max}	: Demiryolu İçin Maksimum Dever (m)
q_{max}	: Karayolu İçin Maksimum Dever (%)
$u(l)$	: Deverin yola bağlı değişimi
v'	: Ani hız (m/s)
v	: Ani hızın yatay bileşeni (m/s)
v_A	: Aracın A noktasındaki ani hızı (m/s)
v_B	: Aracın B noktasındaki ani hızı (m/s)

Simgeler (Devamı)

$v(l)$	: Aracın ani hızının yola bağlı değişimi
Δv	: Aracın ilk hızı ile son hızı arasındaki fark (m/s)
W	: Geçkinin boyuna eğimi
$W(l)$	: Boyuna eğimin yola bağlı değişimi
Z_Y	: Yanal Sademe (m/s ³)
α	: Dever açısı
θ	: Geçkinin boyuna eğim açısı
Δ	: Sapma Açısı
$\frac{da_Y}{dT}$	: Yanal ivmenin zaman bağlı türevi
$\frac{du}{dl}$	: Deverin yola bağlı türevi
$\frac{dk_Y}{dl}$	: Geçki yatay eğriliğinin yola bağlı türevi
$\frac{dk_D}{dl}$	: Geçki düşey eğriliğinin yola bağlı türevi
$\frac{dW}{dl}$	: Boyuna eğimin yola bağlı türevi

Kısaltmalar

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
FHWA	: Federal Highway Administration
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development
RAL	: Richtlinien für die Anlage von Landstraßen
SI	: International System of Units
TSI	: Technical Specification for Interoperability

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Yer Değiştirme.....	6
Şekil 2.2 Artan-sabit-Azalan İvmeli Hareket.....	7
Şekil 2.3 Hareket Halindeki Bir Aracın Hız-Zaman Grafiği.	8
Şekil 2.4 Yatay Kurpta Etkili Kuvvetler.....	9
Şekil 2.5 Geçki Düşey Geometrisinde Etkili İvmeler (Baykal 2009).	11
Şekil 2.6 Geçki Yatay Geometrisinde Etkili İvmeler (Baykal 2009).	12
Şekil 2.7 Düşey Düzlemde Tanımlanan Yol Platformu ve Etkili İvmeler	13
Şekil 5.1 Yatay Kurp Elemanları.....	28
Şekil 6.1 Sademe – En Küçük Kurp Yarıçapı Grafiği (Karayolu).	49
Şekil 6.2 Hız - En Küçük Kurp Yarıçapı Grafiği (Karayolu).	50
Şekil 6.3 Sademe – En Küçük Kurp Yarıçapı Grafiği (Demiryolu).....	54
Şekil 6.4 Hız - En Küçük Kurp Yarıçapı Grafiği (Demiryolu).	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1 Otoyol Ve Çok Şeritli Bölünmüş Yollarda Uygulanan Karayolu Geometrik Standartları.	22
Çizelge 5.1 Yolun Geometrik Özelliğine göre Oluşan Kaza Bilgileri (KGM 2016).	25
Çizelge 5.2 Birbirini Takip Eden Kurplar Arasındaki En Küçük Aliyman Uzunluğu. ..	26
Çizelge 5.3 Kurp Eğriliği ve Yarıçapının Değiştirilmesi Sonucu Kaza Oranlarındaki Değişim	31
Çizelge 6.1 Türkiye ve Çeşitli Ülkelerde Önerilen Minimum Kurp Yarıçapları.	34
Çizelge 6.2 Karayolu İçin Önerilen Minimum Kurp Yarıçapları (AASHTO 2011).	37
Çizelge 6.3 Dever Sınır Değerleri (Lindahl 2001).	39
Çizelge 6.4 Demiryolu Dever Sınır Değerlerine Göre Minimum Kurp Yarıçapları ($u_{\max} = 0,15$ m).	40
Çizelge 6.5 Karayolu için Yanal İvme Sınır Değerlerine Göre Minimum Kurp Yarıçapları ($a_Y = 1,47$ m/s ²), ($q_{\max} = \% 8$).	43
Çizelge 6.6 Demiryolu için Yanal İvme Sınır Değerlerine Göre Minimum Kurp Yarıçapları ($a_Y = 0,35$ m/s ²), ($u_{\max} = 0,18$ m).	45
Çizelge 6.7 Karayolu ve Demiryolu için Sademe Sınır Değerleri.	46
Çizelge 6.8 Karayolu İçin 0,3 m/s ³ Sademe Sınır Değerine Göre Hesaplanan Minimum Kurp Yarıçapları.	48
Çizelge 6.9 Karayolu İçin Sademe Sınır Değerlerine Göre Hesaplanan Minimum Kurp Yarıçapları.	48
Çizelge 6.10 Sademe, Dever, Yanal İvme Sınır Değerlerine Göre En Küçük Yatay Kurp Yarıçapları (Karayolu).	49
Çizelge 6.11 Demiryolu İçin 0,2 m/s ³ Sademe Sınır Değerine Göre Hesaplanan Minimum Kurp Yarıçapları.	52

Çizelge 6.12 Demiryolu İçin Sademe Sınır Değerlerine Göre Hesaplanan Minimum Kurp Yarıçapları.	53
Çizelge 6.13 Sademe, Dever, Yanal İvmeye Göre En Küçük Yatay Kurp Yarıçapları (Demiryolu).	55
Çizelge 6.14 0,3 m/s ³ Sademe Değerine Göre Minimum Kurp Yarıçapları ve Çeşitli Ülkelerde Önerilen Minimum Kurp Yarıçapları (Karayolu).	57
Çizelge 6.15 0,2 m/s ³ Sademe Değerine Göre Minimum Kurp Yarıçapları ve Çeşitli Ülkelerde Önerilen Minimum Kurp Yarıçapları (Demiryolu).	58



1. GİRİŞ

Sosyal, kültürel, ekonomik ve teknolojik alanlarda hızla gelişen günümüz dünyasında ulaşım ihtiyacı günden güne artmaktadır. Artan nüfus ve her türlü gelişmeye paralel olarak hızla büyüyen şehirler, ekonomik gelişmeler ile birlikte yolcu ve yük taşımacılığının hızla artması, günümüz dünyasının en önemli gereksinimi olan zaman kavramının her geçen gün öneminin artması gibi nedenlerle insanların hızlı, güvenli ve konforlu ulaşım sistemlerine olan ihtiyacı artmaktadır. Gelişen teknolojiler ile araçların hız ve konforlarının artması kara ve demiryollarının da bu araçlara uygun hale getirilmesini kaçınılmaz kılmaktadır. Gelişen araçlar ile hızlı, güvenli ve konforlu seyahat etmek günümüzde insanların en önemli istekleri arasındadır. Ulaşım ihtiyacının artması kullanıcıların ulaşım yapılarından beklentilerini de yükseltmekte bunun sonucu olarak daha iyi geometrik tasarıma sahip, hızlı, konforlu ve güvenli ulaştırma yapılarının tasarlanması zorunlu hale gelmektedir. Tüm beklentileri ve ihtiyaçları karşılayacak, konfor, hız ve güvenlik sorunu olmayan ulaştırma yapılarının inşası çağın getirdiği bir gerekliliktir.

Güvenlik, ekonomi, konfor, hız ve düzenlilik (verimlilik), çevreye uyum ilkeleri bir kara ya da demiryolunun projelendirilmesinde dikkate alınan temel ilkelerdir. Öncelikli işlevi yolcu taşımacılığı olan demiryollarında ve yüksek standartlı karayollarında (ekspres yol, otoyol) inşaat maliyetinde ekonomi sağlanması ikinci plana itilmekte güvenlik, konfor ve verimlilikten ödün vermeksizin işletme hızının artırılması, diğer bir deyişle yolculuk süresinin kısaltılması öncelik kazanmaktadır (Baykal 2009). Günümüzde demiryollarında özellikle hızlı tren sistemlerinde yaşanan gelişmeler sayesinde yüksek hızlara ulaşılmıştır. Kara ve demiryollarında yüksek hızlara ulaşılması güvenlik ve konfor açısından sorunlara neden olabilmektedir. Güvenlik ve konfor sorunu bulunmayan proje hızı yüksek kara ve demiryolları tasarlanırken projeye ilişkin geometrik standartların çok iyi araştırılması, doğru standartların seçilmesi ve uygulanması büyük önem taşımaktadır (Kılınç ve Baybura 2012).

Bir ulaştırma yapısına ilişkin standartların oluşmasında birçok kistasın rolü vardır. Bunların en önemlilerinden bir tanesi geçkinin yatay ve düşey geometrisidir (Baybura

2001). Geçki yatay geometrisi tasarımında üzerinde durulması gereken ana konulardan birisi güzergâhın doğru parçalarından oluşan kesimlerinin birleştirilmesidir. Farklı doğrultuya sahip iki doğru parçası en basit şekliyle R yarıçaplı bir daire yayı (dairesel kurp) ile birleştirilir. Ancak, dairesel kurbun doğru parçalarına teğet olduğu noktalarda ortaya çıkan ani merkezkaç kuvvet etkisinin başta güvenlik ve konfor olmak üzere standartlara ilişkin tüm tasarım ölçütlerini olumsuz yönde etkilediği ve işletme hızının artmasıyla bu etkinin tehlikeli boyutlara ulaştığı bilinmektedir (Baybura 2001). Bu olumsuz etkiyi azaltmak için yol platformuna yatay kurbun eğrilik merkezine doğru dever uygulaması ile eğim verilir. Ancak dever uygulaması ters yönlü yapay bir kuvvet oluşturarak merkezkaç kuvvetinin etkisini azaltsa da yüksek hızlı proje tasarımlarında yetersiz kalmaktadır. Deverin artırılması ise özellikle düşük hızlı araçlar için önemli bir sakınca oluşturduğundan dever uygulamasında belirli bir üst sınırın aşılması şart koşulmaktadır (Baybura 2001). Doğru parçası ile dairesel kurbun birleştiği noktalarda oluşan bu problemi en az seviyeye indirmek için doğru parçası ile dairesel kurp arasına yerleştirilen geçiş eğrileri kullanılır.

Karayolu ve demiryollarında yatay kurplar hareket dinamiğinin önemli olduğu kritik kesimlerdir. Yatay kurpların tasarımı aşamasında güzergâh konforunun artırılması ve güvenliğinin sağlanması amacıyla üzerinde durulması gereken önemli bir konu üzerinde birçok faktörün etkili olduğu en küçük kurp yarıçaplarının belirlenmesidir. Geçki yatay geometrisinin tasarımı aşamasında, belirlenen en küçük kurp yarıçaplarından küçük yarıçaplar kullanılamaz. Bu nedenle minimum kurp yarıçapları tasarım açısından dikkate alınması gereken en önemli sınır değerlerden biridir. Tasarım kistası olarak kullanılacak en küçük yatay kurp yarıçapı; dever sınır değerleri, görüş uzunlukları, yanal ivme sınır değerleri ve yanal sademe sınır değerleri temel alınarak türetilbilir (Baykal 2009).

Yatay kurplarda merkezkaç kuvvetinin oluşturduğu enine ivme taşıt güvenliğini azaltmakta ve yolculuk konforunu olumsuz yönde etkilemektedir. Sademe yatay kurplarda meydana gelen enine ivmenin birim zamandaki değişimi olarak tanımlanır. Ulaşım sistemleri tasarımında tasarım ölçütü olarak kullanılan konfor ölçütü sademe değeridir. Yatay kurp tasarımlarında sademe ölçütünün dikkate alınması araç dinamiği,

konfor ve güvenlik açısından önem taşımaktadır. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO 2011) standartlarına göre sademe sınır değeri karayolları için en küçük $0,3 \text{ m/s}^3$, en büyük 1 m/s^3 olarak kabul edilmiştir. Demiryolları için ise sademe sınır değeri literatürdeki değişik kaynaklarda en küçük $0,2 \text{ m/s}^3$, en büyük $0,5 \text{ m/s}^3$ olarak kabul edilmiştir (Baykal 2009).

Karayolu ve demiryolu gibi ulaştırma yapılarının tasarımında özellikle yüksek hızlı sistemler tasarlanırken ivme ve sademe ölçütlerinin dikkate alınması son derece önemlidir. Literatürde ivme ve sademe ölçütlerinin dikkate alınmasını gerektiren durumlar şu şekilde sıralanmıştır (Megyeri 1993, Baykal 2009);

- Geçki geometrisine yönelik ölçütlerin belirlenmesi
- Yeni geçki tasarımında değişik geçki önerilerinin karşılaştırılması ve yol-arac kinematiği açısından en uygun geçkinin saptanması
- Mevcut bir yolun yol-arac kinematiği açısından sorgulanması.

Ulaştırma sistemleri tasarımında geçki geometrisine yönelik ölçütlerin belirlenmesi hız, konfor ve güvenlik sorunu bulunmayan sistemlerin tasarımının ilk koşuludur. İvme ve sademe sınır değerleri ile proje hızı kullanılarak kurp yarıçapı, geçiş eğrisi uzunlukları, dever gibi geometrik geçki elemanlarının en küçük ya da en büyük değerleri hesaplanarak tasarım ölçütleri elde edilir. Hesaplanan bu değerler geçki geometrisi tasarımında izin verilen sınır değerler olarak dikkate alınır (Baykal 2009). Belirli bir hareket modeline göre tasarlanan geçkiler ivme ve sademe sınır değerleri dikkate alınarak karşılaştırılabilir. Bu sayede yol-arac kinematiği açısından en uygun geçki belirlenebilir. Tüm geometrik verileri bilinen mevcut bir yol ivme ve sademe sınır değerleri kullanılarak konfor ve güvenlik açısından sorgulanabilir. Mevcut yolun geometrik verileri ile konfor ölçütlerine göre hesaplanan değerler karşılaştırılarak sınır değer koşullarını sağlamayan güzergâh kesimlerinin geometrileri düzeltilebilir.

Literatürde bulunan yanal sademe hesap bağıntılarının bir bölümü, birim tutarsızlığı nedeniyle yanlış sonuç vermekte (Kahler 1989, Kahler 1990b, Kobryn 1991b, Kobryn 1993), bir bölümü ise yalnızca sabit hızlı hareket ve lineer eğrilik-dever değişimi için geçerli (O'Flaherty 1986, Esveld 1989, Umar ve Yayla 1994) olabilmektedir (Baybura

2001). Baykal (1996)'da yatay geometri dikkate alınarak iki boyutlu, tüm hareket modelleri ve tüm yatay geometri özellikleri için geçerli yanal sademe bağıntıları türetilmiştir. Baybura (2001)'de geçki düşey geometrisindeki eğrilik ve boyuna eğim değişimleri de dikkate alınarak, düşey eğrilik ve boyuna eğim değişimlerini de içeren, genel olarak geçerli üç boyutlu yanal sademe bağıntısı türetilmiştir.

Bu çalışmada, ulaştırma sistemleri yatay geometri tasarımında tasarım ölçütü olarak kullanılacak en küçük yatay kurp yarıçapları konfor ölçütü sademe sınır değerleri kullanılarak türetilmiştir. Sademe ölçütüne bağlı minimum kurp yarıçapı bağıntıları, literatürdeki yanal sademe bağıntıları çözümlenerek elde edilmiştir. Elde edilen bağıntılar kullanılarak sademe sınır değerlerine göre karayolu ve demiryolları için en küçük yatay kurp yarıçapları hesaplanmıştır. Hesaplanan yatay kurp yarıçapları, mevcut yöntemlerle elde edilen yatay kurp yarıçapları ve çeşitli ülkelerde karayolları ve demiryolları için önerilen minimum kurp yarıçaplarıyla karşılaştırılmış, sademe kıstasına göre hesaplanan yatay kurp yarıçaplarının kullanılabilirliği değerlendirilmiş, hızlı, güvenli ve konforlu bir yol için en uygun kurp yarıçapı tasarım için önerilmiştir. Çalışma ile ulaştırma sistemleri yatay geçki tasarımında konfor, güvenlik ve kapasite açısından standartların yükseltilmesi amaçlanmıştır.

2. YOL-ARAÇ KİNEMATİĞİ

Ulaştırma sistemleri projelerinin yatay ve düşey geometri tasarımında ele alınması gereken en önemli konu yol-araç kinematığıdır. Karayolu ve demiryolu projeleri tasarlanırken güvenlik, konfor, ekonomi gibi ölçütlerden ödün vermeksizin yüksek hızlara ulaşmak birinci önceliktir. Yüksek hızlı, güveni ve konforlu ulaştırma sistemlerinin inşası ancak yol-araç kinematığına uygun geçki tasarımları ile mümkündür. Yol-araç kinematığının önemli bileşenleri şunlardır (Baykal 2009):

- Hareket Modeli; Araç hızının yol boyunca değişimini ifade eden sabit hızlı, pozitif veya negatif hızlı hareket modelleri,
- Yolun yatay ve düşey geometrisi; En küçük daire yarıçapları, geçiş eğrisi uygulamaları, yolun yatay ve düşey eğim ve eğrilik fonksiyonları, dever ve dever değişim fonksiyonları,
- Yolun fiziksel özellikleri; Yolun ıslak, kuru, buzlu, bakımsız veya temiz ve bakımlı olması,
- Araçların teknik özellikleri ve fiziksel durumları,
- Hava koşulları; Rüzgâr hızı, yönü, şiddeti, sis, yağış vb.

Bu çalışmada yol araç kinematığı incelenirken yalnızca geçki geometrisi ve hareket modelleri dikkate alınmış, diğer bileşenler ihmal edilmiştir.

Yol-araç kinematığını simgeleyen büyüklükler, bunları göstermek için kullanılan semboller ve birimler aşağıda özetlenmiştir (Schot 1978, Megyeri 1993, Baykal 2009).

- **Yol: l (m)** : Seçilen bir başlangıç noktası ile aracın bulunduğu nokta arasında kalan geçki yatay geometrisi uzunluğu veya geçki yatay geometrisi eğik uzunluğunun yataya indirgenmiş uzunluğudur.
- **Zaman: T (s)** : Bir iş ya da oluşun, bir eylemin içinde geçmekte olduğu, geçtiği ya da geçeceği süre.
- **Hız: v (m/s)** : Yolun zamana göre türevidir.

$$v = l = \frac{dl}{dT} \quad (2.1)$$

- **İvme: a (m/s^2):** Hızın zamana göre türevidir.

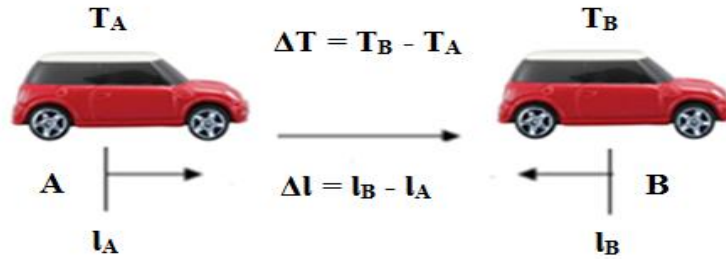
$$a = \ddot{l} = \dot{v} = \frac{d^2l}{dT^2} = \frac{dv}{dT} \quad (2.2)$$

- **Gravite: $g = 9,81 m/s^2$:** Yer çekim ivmesi olup sabit kabul edilir.
- **Sademe: Z (m/s^3):** İvmenin zamana göre türevidir.

$$Z = \ddot{\dot{l}} = \ddot{v} = \dot{a} = \frac{d^3l}{dT^3} = \frac{d^2v}{dT^2} = \frac{da}{dT} \quad (2.3)$$

2.1 Hız ve Hareket

Hız, hareketli bir nesnenin birim zamanda aldığı yol olarak tanımlanır ve birimi (m/s) ya da (km/h) olarak Uluslararası Birim Sisteminde (SI) ifade edilmektedir. Alınan yolun zamana göre değişimi olarak da tarif edilebilir. Alınan yol doğrusal ise hız çizgisel, dairesel ise açısal olur. Hareketlinin herhangi bir andaki hızına ani (anlık) hız, yol boyundaki hızların ortalamasına da ortalama hız adı verilir. Hız, yönü ve şiddeti olan vektörel bir büyüklüktür.



Şekil 2.1 Yer Değiştirme.

Hareket, belirli bir noktaya göre bir cismin konumunun değişmesidir. Doğru üzerinde bir referans noktası seçilerek, hareketli cismin konumu bu referans noktasına göre tanımlanır. A noktasında duran bir taşıtın harekete başlayarak belli bir zamanda B noktasına ulaşması sonucu gerçekleşen yer değiştirmenin zamana oranı aracın ortalama hızını verir.

$$v_{ort} = \frac{\Delta l}{\Delta T} = \frac{l_B - l_A}{t_B - t_A} \quad (2.4)$$

Burada;

v_{ort} = Aracın ortalama hızı

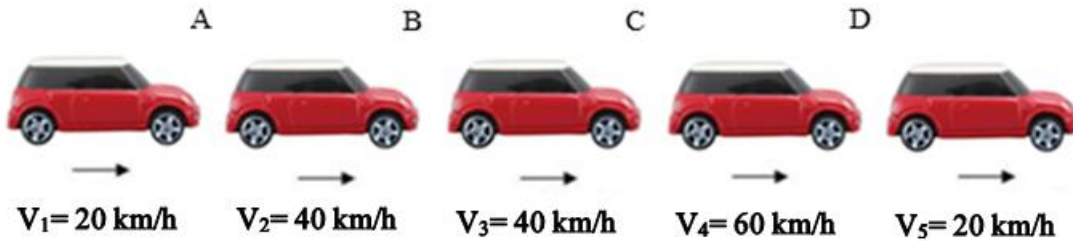
Δl = Aracın ilk konumu ile son konumu arasındaki fark (m)

ΔT = Aracın ilk konumu ile son konumu arasında geçen zaman farkı (s)

2.2 İvme ve Hareket

İvme, hareket halindeki bir cismin hızının birim zaman içindeki değişimi olarak tanımlanır. Hızın zamana göre birinci türevi, alınan yolun ise ikinci türevi ivmeyi verir. İvme, büyüklüğü uzaklık/zaman² olan bir vektörel nicelikdir ve cismin hem hızının hem de yönünün şiddetlerindeki değişimini gösterir. İvmeölçer yardımıyla ölçülen ivmenin SI birimi (m/s²)'dir. İvme “a” harfi ile ifade edilir.

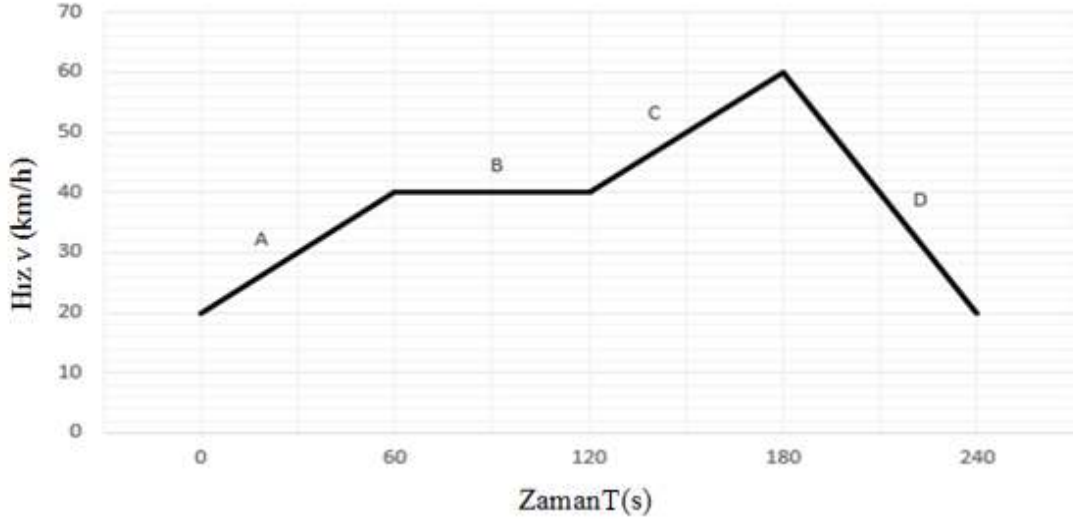
Genel olarak ivme terimi hızdaki (hız vektörünün şiddetindeki) artış olarak kullanılır; hızdaki azalışa ise yavaşlama denir. Fizikte, hız vektöründeki bir değişim ivme olarak kabul edilir. Dairesel harekette, hız vektörünün yönündeki değişim merkezci (merkeze doğru) ivmeye yol açar.



Şekil 2.2 Artan-sabit-Azalan İvmeli Hareket.

Hareket halindeki bir aracın anlık hızına bağlı olarak sabit, artan veya azalan ivmeli hareket edebilir. Hareket halindeki araç anlık hızını azaltıyorsa azalan ivmenin,

artırıyorsa artan ivmenin etkisindedir. Aracın anlık hızı sabit kalıyorsa, bu hareket sabit hızlı hareket olarak tanımlanır. Anlık hızın ne kadar değiştiği yani cismin hızlanma veya yavaşlama miktarı ölçülebilir. Aracın anlık hızındaki değişimin zamana oranı ortalama ivme olarak tanımlanır.



Şekil 2.3 Hareket Halindeki Bir Aracın Hız-Zaman Grafiği.

Hareket halindeki bir aracın hız-zaman grafiği şekil 2.3’de verilmiştir. Bu araç A ve C zaman aralıklarında artan ivmeli, B zaman aralığında sabit ivmeli, D zaman aralığında ise azalan ivmeli hareket sergilemektedir.

Hareket halindeki bir aracın herhangi bir t_1 zamanındaki anlık hızı v_1 , t_2 zamanındaki anlık hızı v_2 ise aracın $t_1 - t_2$ zaman aralığında hızındaki değişim miktarının zamana oranı aracın o aralıktaki ortalama ivmesini verir.

$$a_{ort} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_B - v_A}{t_B - t_A} \quad (2.5)$$

Burada;

a_{ort} = Aracın ortalama ivmesi (m/s^2)

Δv = Aracın ilk hızı ile son hızı arasındaki fark (m/s)

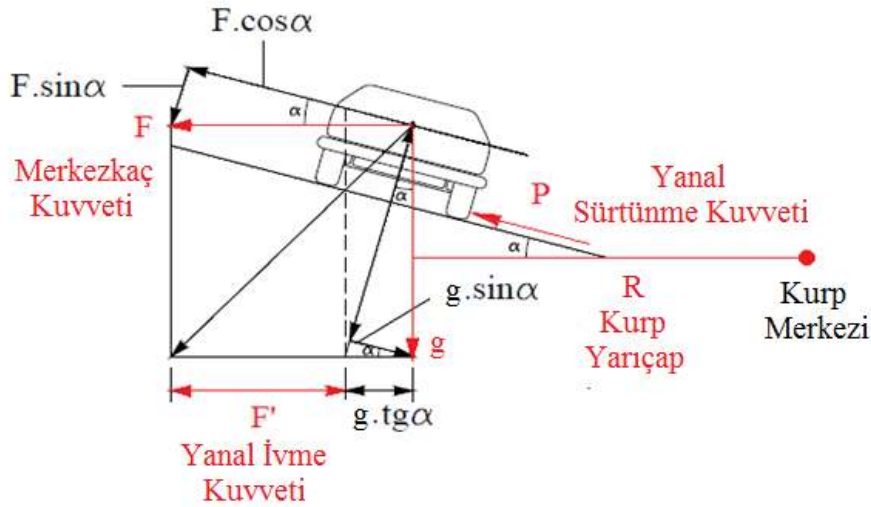
Δt = Aracın ilk konumu ile son konumu arasında geçen zaman farkı (s)

2.3 Hareket Halindeki Bir Taşıta Etki Eden İvmeler ve Bileşke İvme

Eğrisel bir yol güzergâhında v hızıyla hareket eden m kütleli bir araca serbest ve dengelenemeyen kuvvetler etki eder. Bu kuvvetler hareketli araçta bir bileşke ivmeye sebep olur. Eğrisel bir yörünge üzerinde hareket eden bir cisme, hızı sabit de olsa, hızının doğrultusundaki değişim nedeni ile bir merkezci ivme etki eder (Tarı 1997). Bu ivmenin bileşenleri aşağıda sıralanmıştır (Baykal 2009).

- Yer çekim ivmesi (Gravite, $g: 9,81 \text{ m/s}^2$),
- Güzergâh boyunca ilerleyen aracın motor ya da fren gücünün oluşturduğu hareket ivmesi ($a_T: \text{m/s}^2$),
- Geçki yatay geometri eğriliğinden kaynaklanan merkezkaç ivmesi ($a_{M,Y}: \text{m/s}^2$),
- Geçki düşey geometri eğriliğinden kaynaklanan merkezkaç ivmesi ($a_{M,D}: \text{m/s}^2$).

Yatay kurpta hareket eden bir taşıta etki eden kuvvetler şekil 2.4’de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Yatay Kurpta Etkili Kuvvetler.

2.3.1 Yer Çekim İvmesi

Dünyanın çekim alanı içinde herhangi bir noktada bulunan bir cisme etkiyen yerin ağırlık merkezine doğru düşey doğrultulu ivmedir. Yer çekim ivmesi “ g ” harfi ile gösterilir ve $g= 9,81 \text{ m/s}^2$ olarak kabul edilir.

2.3.2 Teğetsel İvme (a'_T)

Hareket halindeki bir aracın motor veya fren gücünün oluşturduğu ivmedir. Doğrultusu aracın ağırlık merkezindeki yatay geçki teğeti ile çakışıktır. Hesaplamalarda yol uzunlukları olarak geçki yatay uzunlukları kullanıldığından (a'_T) yerine teğetsel ivmenin yatay izdüşümü olan (a_T) kullanılır. Uygulamada genellikle geçki yatay geometrisinin belirli noktalarında ani hızın bilindiği varsayılır (Baykal 2009). Sabit hızlı hareket modelinde teğetsel ivme sıfıra eşittir.

Pozitif ve negatif ivmeli hareket modellerinde geçki yatay uzunlukları ve ani hızlar bilinirse teğetsel ivme aşağıdaki gibi hesaplanır (Baybura vd. 2005).

$$a_T = \frac{v_B^2 - v_A^2}{2(l_B - l_A)} \quad (2.6)$$

Burada;

a_T = Teğetsel ivmenin yatay izdüşümü

v_A = Aracın A noktasındaki ani hızı

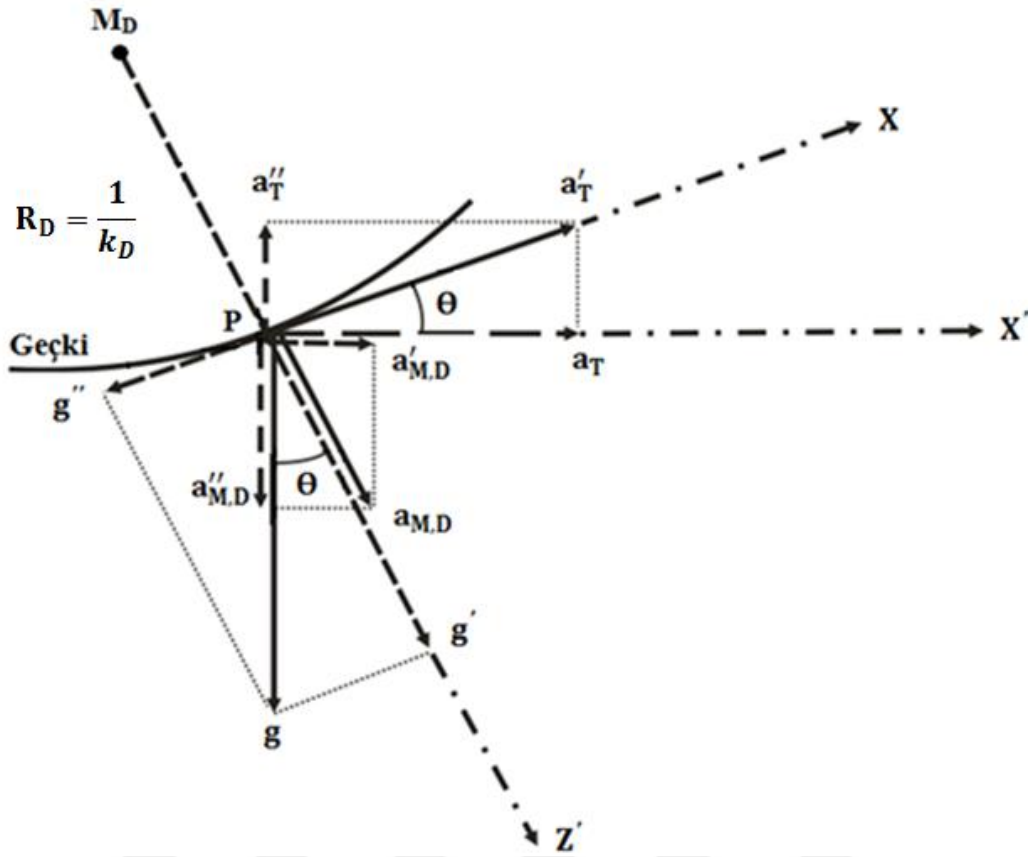
v_B = Aracın B noktasındaki ani hızı

l_A = A noktasındaki geçki yatay uzunluğu

l_B = B noktasındaki geçki yatay uzunluğu

2.3.3 Düşey Geometri Merkezkaç İvmesi ($a_{M,D}$)

Hareket halindeki bir taşıta geçki düşey geometrisinin eğrisel bölümlerinde etki eden ivmedir. Şekil 2.5'de hareket halindeki bir taşıta geçki düşey geometrisinde etki eden ivmeler gösterilmiştir (Baykal 2009).



Şekil 2.5 Geçki Düşey Geometrisinde Etkili İvmeler (Baykal 2009).

Geçki düşey geometri eğriliğinden kaynaklanan merkezkaç ivmesi aşağıdaki gibi ifade edilir (Baykal 2009).

$$a_{M,D} = k_D \cdot v'^2 = k_D \frac{v^2}{\cos^2 \theta} = (1 + W^2) k_D \cdot v^2 \quad (2.7)$$

Burada;

$a_{M,D}$ = Geçki düşey eğriliğinin sebep olduğu merkezkaç ivmesi (m/s^2)

$k_D = \frac{1}{R_D}$ = Düşey geometri eğriliği ($1/m$)

R_D = Düşey geometri eğrilik yarıçapı (m)

v' = Ani hız

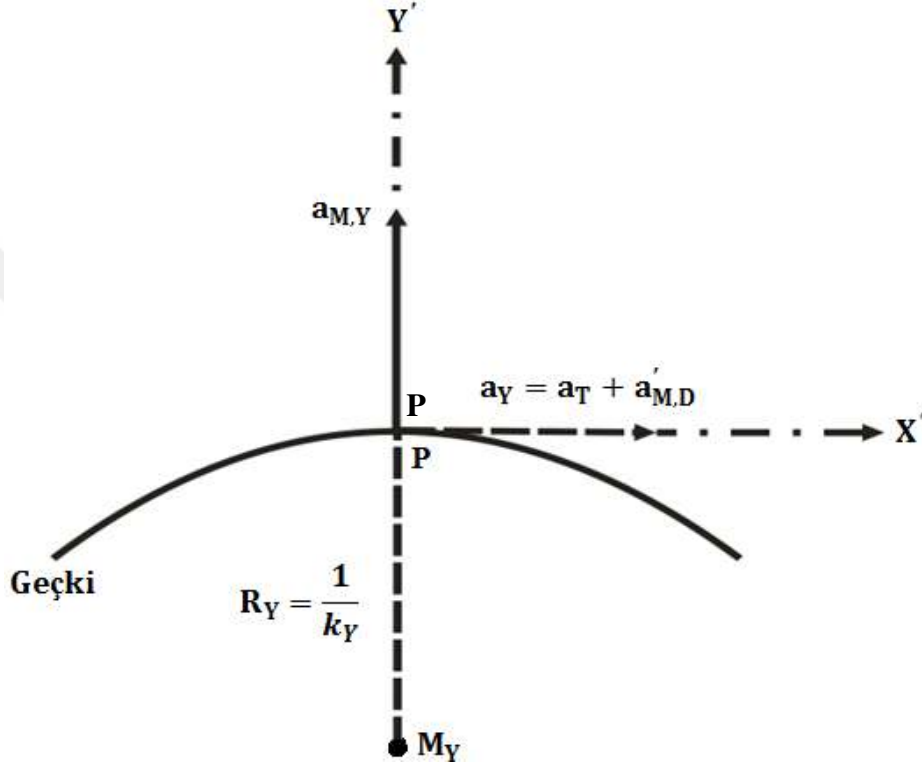
v = Ani hızın yatay bileşeni

θ = a_T' teğetsel ivmesinin yatayla yaptığı açı, geçkinin boyuna eğim açısı

W = Geçkinin boyuna eğimi

2.3.4 Yatay Geometri Merkezkaç İvmesi ($a_{M,Y}$)

Hareket halindeki bir taşıta geçki yatay geometrisinin eğrisel bölümlerinde etki eden ivmedir. Şekil 2.6’de hareket halindeki bir taşıta geçki yatay geometrisinde etki eden ivmeler gösterilmiştir (Baykal 2009).



Şekil 2.6 Geçki Yatay Geometrisinde Etkili İvmeler (Baykal 2009).

Geçki yatay geometri eğriliğinden kaynaklanan merkezkaç ivmesi aşağıdaki gibi ifade edilir (Baykal 2009).

$$a_{M,Y} = k_Y v^2 \quad (2.8)$$

Burada;

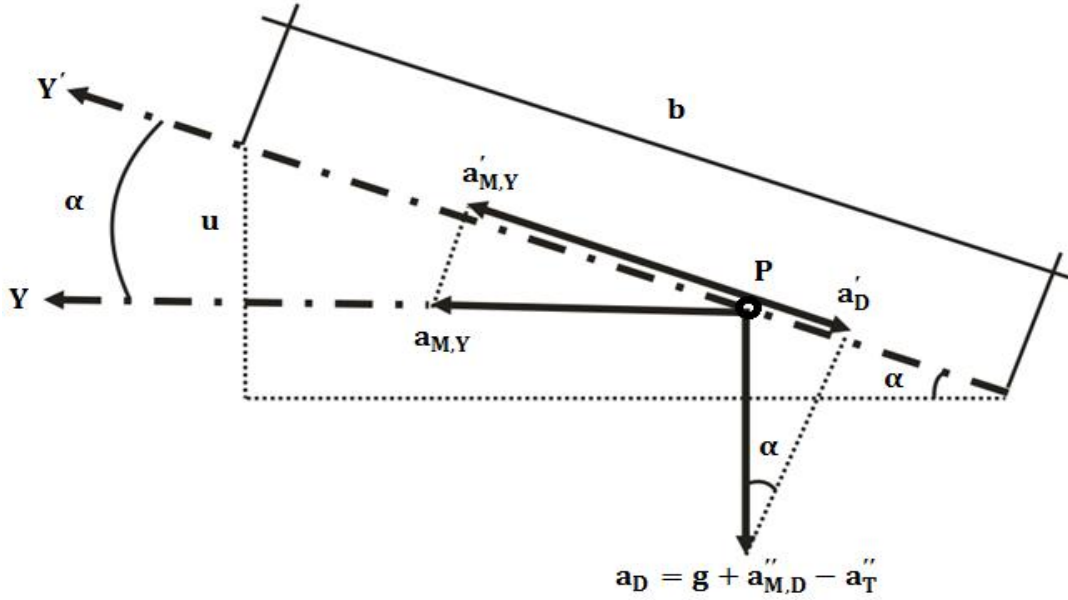
$a_{M,Y}$ = Geçki yatay eğriliğinin sebep olduğu merkezkaç ivmesi (m/s^2)

$k_Y = \frac{1}{R_Y}$ = Yatay geometri eğriliği ($1/m$)

R_Y = Yatay geometri eğrilik yarıçapı (m)

v = Ani hız

Şekil 2.7’da düşey düzlemde tanımlanan yol platformu ve etkili ivmeler gösterilmiştir (Baykal 2009).



Şekil 2.7 Düşey Düzlemde Tanımlanan Yol Platformu ve Etkili İvmeler (Baykal 2009).

2.3.5 Yanal İvme (a_Y)

Eğrisel bir yatay geometride v hızıyla hareket eden bir araca etki eden serbest ivmelerin, aracın ağırlık noktasındaki yatay geçki teğetine dik izdüşümlerinin bileşkesi yanal ivme olarak tanımlanır. Şekil 2.7’da geçki yatay eğriliğinden kaynaklanan $a_{M,Y}$ ivmesinin bileşeni $a'_{M,Y}$ ile düşey ivmelerin bileşeni a'_D ivmesinin bileşkesi yanal ivmedir. Yanal ivme bağıntısı Baykal (2009)’da aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$a_Y = a'_{M,Y} - a'_D = a_{M,Y} \cdot \cos \alpha - (g + a''_{M,D} - a''_T) \sin \alpha \quad (2.9)$$

$$a_Y = a_{M,Y} \cdot \cos \alpha - (g + a_{M,D} \cdot \cos \theta - a_T \cdot \tan \theta) \sin \alpha \quad (2.10)$$

$$\cos \alpha = \frac{\sqrt{b^2 - u^2}}{b}, \quad \sin \alpha = \frac{u}{b} \quad (2.11)$$

$$\cos \theta = \frac{1}{\sqrt{1+W^2}} \quad , \quad \tan \theta = W \quad (2.12)$$

$$a_Y = a_{M,Y} \frac{\sqrt{b^2 - u^2}}{b} - \left(g + \frac{a_{M,D}}{\sqrt{1+W^2}} - a_T \cdot W \right) \frac{u}{b} \quad (2.13)$$

$$a_Y = \frac{1}{b} \left\{ \sqrt{b^2 - u^2} \cdot k_Y \cdot v^2 - u \left(g + \sqrt{1+W^2} \cdot k_D \cdot v^2 - a_T \cdot W \right) \right\} \quad (2.14)$$

Burada;

b = Yol platformu eğik genişliği – demiryollarında sabit hat genişliği (m)

u = Dever (m)

α = Dever açısı

$\theta = a'_T$ ivmesinin yatayla yaptığı açı, geçkinin boyuna eğim açısı

3. YANAL SADEME

İvmenin birim zamandaki değişim miktarı sademe olarak adlandırılmaktadır. Sademe kavramı mesafenin üçüncü türevi olarak tanımlanır (Schot 1978). Sademe aynı zamanda ikinci ivme olarak da adlandırılabilir. Yol güvenliği ve konforu açısından sademe önemli bir tasarım ölçütüdür. Sademe yolculuk konforunu belirlemede kullanılan bir değerdir ve yol tasarımlarında konfor ölçütü olarak bilinir (Manns 1985, Kahler 1990, Kobryn 1993, Megyeri 1993, Anderson 1994, Förstberg 2000, Baykal 2009). Geçki yatay geometrisinde geçki elemanı olarak kullanılan eğrilerin, yol-araç dinamiği yönünden karşılaştırılmasında en uygun ölçüt yanal sademedir (Jacobs 1987, Tarı ve Baykal 1995, Baykal 1996, Baykal vd. 1997, Tarı 1997, Baybura 2001).

Güzergâh boyunca hareket eden bir taşıta yukarıdaki ivmeler etki eder ve bu ivmelerin oluşturduğu bileşke ivme sademeyi doğurur. Yanal sademe, eğrisel bir yörünge üzerinde (v) ani hızıyla hareket eden (m) kütleli araca etki eden serbest kuvvetlerin meydana getirdiği bileşke ivmenin, yörünge eğrisinin normali doğrultusunda zamana göre değişimi olarak tanımlanır (Baykal 1996). Baykal (1996)'da yanal sademe bağıntısı düşey geometri ihmal edilerek sadece yatay geometri dikkate alınarak iki boyutlu olarak ifade edilmiştir. Yatay ve düşey geometri dikkate alınarak ve üç boyutlu olarak ifade edilen yanal sademe bağıntısı Baybura (2001)'da aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$Z_Y = \frac{da_Y}{dT} \quad (3.1)$$

$$Z_Y = \frac{b \cdot v}{\sqrt{u^2 + b^2}} \left\{ \begin{aligned} & \left(\left(3 \cdot k_Y \cdot a_T + v^2 \frac{dk_Y}{dl} \mp \frac{u \cdot v^2}{b\sqrt{1+W^2}} \right) \frac{dk_D}{dl} + \left(\frac{-k_Y \cdot v^2 \cdot u}{u^2 + b^2} - \frac{g}{b} \right) \right. \\ & + \frac{g \cdot u^2}{b(u^2 + b^2)} \mp \frac{k_D \cdot v^2}{b\sqrt{1+W^2}} \mp \frac{-k_D \cdot v^2 \cdot u^2}{b\sqrt{1+W^2} \cdot (u^2 + b^2)} \left. \right) \frac{du}{dl} \\ & \mp \left(\frac{-u \cdot k_D \cdot v^2 \cdot W}{b(1+W^2)^{\frac{3}{2}}} \right) \frac{dW}{dl} \mp \left(\frac{2 \cdot u \cdot k_D \cdot a_T}{b\sqrt{1+W^2}} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Eşitlik (3.2)'deki ($\mp$) operatörleri, dere (açık) düşey kurp için (-), tepe (kapalı) düşey kurp için (+) olarak uygulanmalıdır.

Burada;

Z_Y : Yanal Sademe (m/s^3)

v : Aracın ani hızı (m/s)

k_D : Geçkinin düşey düzlemde tanımlanmış eğriliği ($1/m$)

k_Y : Geçkinin yatay düzlemde tanımlanmış eğriliği ($1/m$)

a_T : Aracın hız vektörünün büyüklüğünü değiştiren bileşke teğetsel ivme (m/s^2)

a_Y : Yanal ivme (m/s^2)

T : Zaman (s)

l : Geçkinin yatay izdüşüm uzunluğu (m)

u : Dever (m)

g : Yer çekim ivmesi ($9,81 m/s^2$)

W : Boyuna eğim

b : Yol platformu yatay genişliği (m)

Sademe hesabının yapılabilmesi için aşağıda sıralanan fonksiyonların bilinmesi zorunludur.

$v(l)$: Aracın ani hızının yola bağlı değişimi

$u(l)$: Deverin yola bağlı değişimi

$W(l)$: Boyuna eğimin yola bağlı değişimi

$k_D(l)$: Geçki düşey eğriliğinin yola bağlı değişimi

$k_Y(l)$: Geçki yatay eğriliğinin yola bağlı değişimi

$\frac{da_Y}{dT}$: Yanal ivmenin zaman bağlı türevi

$\frac{du}{dl}$: Deverin yola bağılı türevi

$\frac{dk_y}{dl}$: Geçki yatay eğriliğinin yola bağılı türevi

$\frac{dk_D}{dl}$: Geçki düşey eğriliğinin yola bağılı türevi

$\frac{dW}{dl}$: Boyuna eğimin yola bağılı türevi

Yatay geometride koordinatı bilinen sabit bir noktadan uzaklıkları sabit ve R boyu kadar mesafede olan noktaların geometrik yeri olarak tanımlanan düzlem eğrisi, dairesel kurp olarak adlandırılır. Sabit uzaklık dairesel kurpun yarıçapı (R) olup, dairesel kurpun eğrilik fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$k_Y(l) = \frac{1}{R_Y} = \text{Sabit} \left(\frac{1}{m} \right) \quad (3.3)$$

Dairesel kurpun dever fonksiyonu ise şu şekilde tanımlanır;

$$u(l) = u_{\max} = \text{Sabit} (m) \quad (3.4)$$

Burada $u_{\max}$ v proje hızına ve R dairesel kurp yarıçapına bağılı olarak hesaplanan sabit bir değerdir.

Baybura (2001)'de yol platform genişliğinin (b), yer çekim ivmesinin (g) ve bileşke teğetsel ivmenin (a_T) sabit kaldığı varsayılmıştır.

(3.2) bağıntısı yatay geometriye göre düzenlenebilir. Geçkinin düşey eğriliği (k_D) ile boyuna eğimin (W) olmadığı kabulüne göre yatay geometri için oluşan ve Baykal (1996) yanal sademe bağıntısına karşılık gelen yanal sademe bağıntısı aşağıda verilmiştir.

$$Z_Y = \frac{da_y}{dT} = \frac{bv}{\sqrt{u^2 + b^2}} \left\{ 3k_Y a_T + v^2 \frac{d_{k_Y}}{d_l} + \left(\frac{-k_Y v^2 u}{u^2 + b^2} - \frac{g}{b} + \frac{g u^2}{b(u^2 + b^2)} \right) \frac{d_u}{d_l} \right\} \quad (3.5)$$



4. GEOMETRİK STANDARTLAR VE SEÇİMİ

Ulaşım sistemlerinde bir yolun ister karayolu ister demiryolu olsun hizmet ömrü süresince güvenli, hızlı, konforlu ve elverişli ulaşımı sağlayacak özelliklerde olması istenir. Bir yolun beklenen özellikleri taşımasının en önemli koşulu planlama, tasarım, yapım ve bakım (onarım, iyileştirme, yenileme) aşamalarında temel mühendislik ölçütlerinin uygulanmasıdır. Karayolu ve demiryolu tasarımlarında tasarımın amaçları, tasarımı kısıtlayan etkenler ve tasarım elemanları hakkında çok iyi bilgi sahibi olmak gerekir. Yol geometrik tasarımlarında güvenlik, konfor, elverişlilik, ekonomi, çevresel kalite gibi tasarım amaçlarına ulaşabilmek için tasarımı kısıtlayan araç, sürücü, trafik, çevre gibi etkenler ile yatay eksen, düşey eksen, görüş mesafesi gibi tasarım elemanları arasında ilişkiler kurularak tasarıma esas geometrik standartların yani tasarım ölçütlerinin belirlenmesi gerekir.

Yatay ve düşey eksen geometrik tasarımında geçki geometrisine yönelik yol geometrik standartlarının belirlenmesi hız, konfor ve güvenlik sorunu bulunmayan sistemlerin tasarımının ilk koşuludur. İvme ve sademe sınır değerleri ile proje hızı kullanılarak kurp yarıçapı, geçiş eğrisi uzunlukları, dever gibi geometrik geçki elemanlarının en küçük ya da en büyük değerleri hesaplanarak tasarım ölçütleri elde edilir. Hesaplanan bu değerler geçki geometrisi tasarımında izin verilen sınır değerler olarak dikkate alınır. (Baykal 2009).

Bir yolun geometrik standartları; platform genişliği, yatay ve düşey kurp yarıçapları, dever, boyuna ve enine eğim gibi plan ve boykesit ile ilgili değerlerdir. Geometrik standartların, güzergâh seçimine ve keşfe etkisi olduğundan, proje safhasından önce tespit edilmesi gerekir. Başlangıçta bu standartların sağlıklı bir şekilde belirlenmesi, proje aşamasını kolaylaştırır.

Geometrik standartları yüksek bir yolu kullanmak, hızlı, güvenli ve konforlu bir ulaşım olarak sağlaması, ayrıca taşıt işletme maliyetini azaltması bakımından tercih edilen bir durumdur. Ancak yol tasarımlarında asıl olan hizmet ömrü boyunca gereksinime en makul ölçülerde yanıt verebilecek en ekonomik bir yolun tasarımı olduğuna göre,

standartların olması gerekenden büyük tutulması istenmez. Yol geometrik standartlarının seçiminde etkili olan unsurlar;

- Proje hızı
- Yolun sınıfı
- Trafik hacmi
- Trafiğin bileşimi
- Arazinin topoğrafik durumu
- Mali olanaklar
- Trafik güvenliği
- Diğer unsurlar

olarak sıralanabilir (Yayla 2002).

Karayolu ve demiryolları projelendirilirken, geometrik tasarıma esas olan ve sürücülerin emniyetli bir şekilde sağlayabilecekleri en yüksek hız değeri proje hızı veya tasarım hızı olarak tanımlanır. Minimum görüş uzunlukları, en küçük kurp yarıçapı, kurpdaki dever uygulaması, birleştirme eğrisi uzunluğu, en büyük boyuna eğim, genişletme miktarı, konfor parametresinin değeri, proje hızına göre hesaplandığından proje hızı geometrik tasarıma başlamadan önce belirlenmelidir.

Trafik hacminin yüksek olması beklenen ana yollar tasarlanırken hızlı, güvenli ve konforlu ulaşımın sağlanması için geometrik standartların yüksek tutulması gerekirken, trafik hacminin düşük olacağı yerel yolların tasarımında geometrik standartların düşük tutulmasında önemli bir sakınca bulunmamaktadır. Geometrik standartlar belirlenirken yolun hizmet ömrü boyunca verimliliğin sağlanabilmesi için gelecek yıllardaki trafik hacmi öngörülmelidir.

Seçilen geometrik standartların uygulanmasının getireceği maliyet ile arazinin topoğrafik durumu arasında doğrudan bir ilişki vardır. Düz arazilerde yüksek standartların uygulanması daha kolay ve maliyet olarak daha avantajlı iken, dağlık bir arazide büyük yarıçaplı kurplar ya da düşük boyuna eğim gibi yüksek standartların seçilmesi yüksek dolgu ve yarmalar gerektireceğinden maliyet olarak dezavantajlıdır. Mali olanakların imkân vermesi durumunda geometrik standartların yüksek tutulması,

kritik durumlarda tercihlerin yüksek standart yönünde kullanılması hızlı, güvenli ve konforlu ulaşım sistemlerinin tasarlanmasına imkân sağlayacaktır.

Yol Geometrik standartlarının yetersiz olması veya uygulanmaması trafik güvenliğini tehlikeye düşürerek trafik kazalarına sebep olabileceğinden, geometrik standartları seçerken trafik güvenliğini arttıran değerlerin tercihi uygun olacaktır. Trafik kazalarına sebep olan en önemli faktörler arasında, geometrik standartların yanlış seçilmesinden veya uygulanmamasından kaynaklanan yol kusurları gösterilebilir. Yol kusuruna sebep olan ve geometrik standartların seçimiyle alakalı bazı durumlar aşağıda sıralanmıştır.

- Yol güzergâhının kritik kesimlerini oluşturan eğri kesimlerinde (kurp) yanlış enine eğim (dever) uygulanması veya hiç dever olmaması,
- Hızlı, güvenli ve konforlu ulaşımı sağlayacak en küçük kurp yarıçaplarının yanlış seçilmesi,
- Yol güzergâhının doğru kesimlerini oluşturan aliymanlarda enine ve boyuna eğimlerin yanlış seçilmesi,
- Boyuna eğimin fazla olduğu kesimlerde tırmanma şeritlerinin yapılmaması,
- Yol yüzey özelliklerinin kötü olması,
- Yeterli görüş mesafelerinin sağlanamaması,
- Banket genişliklerinin yetersiz olması veya hiç banket olmaması,
- Geçki yatay ve düşey geometrilerinin uyumsuz olması,

Yolun geçeceği bölgenin zemin durumu, iklim koşulları, hakim arazi kullanım şekli, kent içi yollarda kentin tarihi dokusu ve yerleşme yoğunluğu gibi hususlar yol geometrik standartlarının seçilmesi sırasında etkili olabilecek diğer hususlar olarak sıralanabilir.

Yukarıda bahsedilen hususların hassas bir şekilde ele alınmasıyla belirlenecek geometrik standartların ulaştırma sistemleri geometrik tasarımında kullanılması ile birlikte geniş şartlara uygulanabilecek, standartları yüksek, ekonomik, verimli ve yeterli karayolu veya demiryolu gibi projeler, hızlı, güvenli ve konforlu ulaşımı sağlayarak beklentileri karşılayacaktır.

Ülkemizde Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından otoyol ve çok şeritli bölünmüş yollarda uygulanan karayolu geometrik standartları çizelge 4.1’ de, kent dışı ve kent içi devlet yollarında uygulanan karayolu geometrik standartları EK-1 ve EK-2’ de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Otoyol Ve Çok Şeritli Bölünmüş Yollarda Uygulanan Karayolu Geometrik Standartları.

Proje elemanları		Otoyol ve (2x2) Şeritli Bağlantı Yollar			
Proje Hızı		Km/h	120	100	80
Şerit Genişliği		m	3,75	3,75	3,75
Şerit sayısı			2x3	2x3	2x3
Banket Genişliği (Acil Park Şeridi)		m	3	3	3
Oto korkuluk Payı (Dolguda)		m	1	1	1
Refüj Banket Genişliği		m	1	1	1
Refüj Genişliği		m	5	5	5
Normal Enine Eğim (Minimum Dever)		%	2,5	2,5	2,5
Maksimum Dever		%	6	6	6
Minimum Yatay Kurp Yarıçapı		m	1000	600	350
Minimum Klotoid Parametresi		m	350	200	150
Yatay Kurp Yarıçapı (Minimum Dever)		m	3400	2050	1200
Dever Gerektirmeyen Yatay Kurp Yarıçapı		m	5000	4500	3000
Geçiş Eğrisi Gerektirmeyen Yatay Kurp Yarıçapı		m	3000	2000	1500
Aliyman Boyu	Maksimum	m	3000	2500	2000
	Minimum	m	600	500	400
Boyuna Eğim	Maksimum	%	4	4	5
	Minimum	%	0,5	0,5	0,5
Relatif Eğim (Dever Geçişi)	Maksimum	%	0,5	0,5	0,5
	Minimum	%	0,3	0,25	0,25
Düşey Kurp (Minimum) $k= r/100$	Kapalı	m	200	125	70
	Açık	m	100	70	35
Duruş Görüş Uzunluğu (İstenilen)		m	300	200	150
Duruş Görüş Uzunluğu (Minimum)		m	200	150	110
Minimum Köprü Düşey Açıklığı		m	5	5	5

5. YATAY GEÇKİ GEOMETRİSİ

Yatay geçki geometrisi belirli özelliklere sahip düzlem eğrilerin uç uca eklenmesi suretiyle tasarlanır. Bu eğriler eğrilik fonksiyonlarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılır (Megyeri 1993).

- **Sabit eğriliğe sahip (1. Sınıf) eğriler:** Doğru parçası (aliyman), daire yayı (kurp)
- **Değişken eğriliğe sahip (2. Sınıf) eğriler:** Geçiş eğrileri

Bunların dışında henüz uygulama alanına girmeyen iki doğru parçasını tek bir eğri ile birleştirme amaçlı birleştirme eğrileri ile eğriliği sürekli değişen geçki yatay geometrisi tasarımı olanağını veren spline fonksiyonlarına literatürde sıkça rastlamak mümkündür (Baykal 2009).

Yatay geçki tasarımında güvenlik, seyahat süresi ve kapasite (veya trafik kalitesi) gibi hususlar etkin rol oynamaktadır. Yatay geçki tasarlanırken tasarım hızı (V_t) topoğrafik yapı ve arazi şartlarına (örneğin; dere, demiryolu, kanal, vadi, geçit, vb.) uyum ve ekonomi göz önünde bulundurulmalı, yol güvenliğinin ve belirlenen ya da istenilen hızda sürekli ulaşımın sağlanması esas alınmalıdır (Tunç 2004).

Karayolu ve demiryolu projelerinde yatay geçki geometrisi tasarımı yatay geometri elemanlarının tasarlanmasıyla yapılır. Bu elemanlar aliyman, kurp, geçiş eğrisi ve dever'dir. Yatay geçki elemanlarının birbirleri ile ilişkisi ayrıca yatay ve düşey eksen ilişkisi tasarımda büyük önem taşımaktadır. En küçük ve en büyük aliyman uzunluğu, aliyman üzerindeki tasarım hızı, dever ve yanal sürtünme katsayısı, izin erilen en küçük kurp yarıçapı, en küçük ve en büyük kurp uzunluğu, kurp üzerindeki tasarım hızı, yol platform genişliği, geçiş eğrisi, yatay ve düşey kurpların çakışması gibi hususlar yolun güvenliği, kapasitesi ve konforunu doğrudan etkilemektedir (Tunç 2004).

5.1 Aliyman Tasarımı

Karayolu ve demiryolu yatay geçkilerinde, geçkinin doğru kesimlerini oluşturan kısımları “aliyman” olarak adlandırılmaktadır. Yol güvenliği ve işletme şartlarının beklentileri karşılayacak düzeyde sağlanmasında aliyman tasarımlarının önemi büyüktür. Aliymanların çok uzun olması ulaşım güvenliğini ve işletme şartlarını olumsuz yönde etkilediği gibi çok kısa olması da yol güvenliği açısından sakıncalıdır. Aliymanların çok uzun olması durumunda yol kullanıcılarının karşılaşılabileceği olumsuz durumlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır (Baykal 2009).

- Çok uzun aliymanlar sürücülerin aşırı hız yapmasına olanak sağladığı için kazalara neden olur.
- Aynı doğru üzerinde uzun süre yol alan sürücülerin maruz kaldığı monoton sürüş yorulmalarına, dikkatlerinin dağılmasına sebep olur.
- Çok uzun aliymanlarda karşıdan gelen araçların farları sürücüleri uzun süre etkileyeceğinden yolculuk konforu ve güvenliği azalır.
- Karşıdan gelen veya takip edilen araçların hız ve mesafelerinin kestirimi güçleşir.
- Doğu-batı yönünde hareket eden sürücüler güneş doğarken ve batarken güneşten etkilenirler.
- Sürücüler çok uzun aliymandan sonra gelen eğri kesimlere (kurp) uyum sağlamakta zorlanır.

Aliymanların çok kısa olmasının yaratacağı sakıncalar ise şöyle sıralanabilir (Tunç 2004).

- Yeterli geçiş-görüş mesafelerinin sağlanması zorlaşmaktadır.
- Küçük aliymanlar işletme hızını azaltacağından yolculuk süresi de artar.
- Yol kapasitesi düşer.
- Aliyman-kurp-aliyman ilişkisinde bağımsız aliyman uzunluğu sağlanamamaktadır.

Aliymanlar, aliymandan kurba geçişlerde işletme hızını etkilemesine göre bağımlı ve bağımsız aliyman olarak nitelendirilir. Bağımlı aliyman, kurbun varlığının aliymandaki

işletme hızını etkilediği yani aliymanla kurp arasında 20 km/h'ten fazla fark olması durumundaki aliymandır. Bağımsız aliyman ise aliymanla kurp arasında 20 km/h'ten daha az işletme hızı farkı olması yani kurbun varlığının işletme hızını etkilemediği durumda var olan aliymandır.

Çizelge 5.1 Yolun Geometrik Özelliğine göre Oluşan Kaza Bilgileri (KGM 2016).

	Yerleşim Yeri		Yerleşim Yeri Dışı		TOPLAM	
YATAY GÜZERGÂH	Kaza Sayısı	%	Kaza Sayısı	%	Kaza Sayısı	%
Düz Yol	122631	89,31	30698	67,17	153329	83,78
Viraj	12614	9,19	9962	21,80	22576	12,34
Tehlikeli Viraj	2066	1,50	5040	11,03	7105	3,88
TOPLAM	137311	100	45700	100	183011	100
DÜŞEY GÜZERGÂH	Kaza Sayısı	%	Kaza Sayısı	%	Kaza Sayısı	%
Eğimsiz	110430	80,42	30126	65,92	140556	76,80
Eğimli	25657	18,69	14079	30,81	39735	21,71
Tehlikeli Eğim	899	0,65	1125	2,46	2024	1,11
Tepe Üstü	325	0,24	370	0,81	695	0,38
TOPLAM	137311	100	45700	100	183011	100
KAVŞAK	Kaza Sayısı	%	Kaza Sayısı	%	Kaza Sayısı	%
Dört Yönlü	25877	18,85	1409	3,08	27286	14,91
Üç Yönlü (T)	18583	13,53	1824	3,99	20407	11,15
Dönel Kavşak	8427	6,14	2098	4,59	10525	5,75
Diğer Kavşak Çeşidi	5403	3,93	891	1,95	6294	3,44
Üç Yönlü (Y)	3647	2,66	861	1,89	4508	2,46
Köprülül Kavşak	511	0,37	132	0,29	643	0,35
Hemzemin Geçit	166	0,12	83	0,18	249	0,14
Kavşak Yok	74697	54,40	38402	84,03	113099	61,80
TOPLAM	137311	100	45700	100	183011	100
GEÇİTLER	Kaza Sayısı	%	Kaza Sayısı	%	Kaza Sayısı	%
Yaya Geçidi	11694	8,52	704	1,54	12395	6,77
Okul Geçidi	863	0,63	60	0,13	923	0,50
Kontrollü Demiryolu Geçidi	10076	7,33	17822	39,00	27900	15,25
KontROLSÜZ Demiryolu Geçidi	148	0,11	28	0,05	176	0,10
Geçit Yok	114528	83,41	27088	59,27	141614	77,38
TOPLAM	137311	100	45700	100	183011	100
DİĞER	Kaza Sayısı	%	Kaza Sayısı	%	Kaza Sayısı	%
Dar Yol	1123	0,82	183	0,40	1306	0,71
Köprü Üstü	9953	7,25	16703	36,55	26656	14,57
Tünel İçi	694	0,51	416	0,91	1110	0,61
Köprü Altı	465	0,34	73	0,16	538	0,29
Menfez Üstü	109	0,08	77	0,17	185	0,10
Kasis	250	0,18	237	0,52	487	0,27
Dar Köprü	569	0,41	791	1,73	1360	0,74
Hiçbiri	124148	90,41	27220	59,56	151368	82,71
TOPLAM	137311	100	45700	100	183011	100

Çizelge 5.1’de yolun geometrik özelliklerine göre 2015 yılında meydana gelen ölümlü ve yaralanmalı kazaların sayısı ve oranları verilmiştir. Çizelge 5.1’ de görüldüğü gibi yatay ve düşey güzergâhta yol geometrik özellikleri içinde en fazla kaza yolun düz kesimlerinde (aliyman) meydana gelmektedir. Yatay güzergâhta aliyman üzerinde meydana gelen kazalar % 83 gibi büyük bir orandadır (KGM 2016).

Karayolu yatay geçki tasarımlarında güvenlik, konfor ve verimlilik ölçütlerinden ödün verilmeden aliymanların tasarlanması için aşağıda belirtilen şartların sağlanması gerekmektedir (KGM 2005).

- Yatay geçki tasarımlarında doğru parçasında oluşan kesimler bağımsız aliyman olarak tasarlanmalıdır.
- Aynı yönde ve birbirini takip eden kurplardan kaçınılmalı, kaçınılmaz ise aynı yöndeki kurplar arasındaki aliyman uzunluğu (m) tasarım hızının 6 katı olacak şekilde seçilmelidir.
- Gece sürüş şartlarında karşı yönden gelen araçların far ışıklarından sürücülerin etkilenmemesi için sabit eğimli aliymanların uzunluğu tasarım hızının 20 katını geçmeyecek şekilde seçilmelidir.
- Bağımlı aliymanlarda minimum aliyman uzunluğu çizelge 5.2’de belirtilen koyu değerlerden az olmamalıdır (KGM 2005).

Çizelge 5.2 Birbirini Takip Eden Kurplar Arasındaki En Küçük Aliyman Uzunluğu.

Kurpta İşletme Hızı (km/h)	Aliymanda İşletme Hızı (Km/h)										
	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
50	110	140	175	215	255	295	340	390	434	485	540
55		120	155	190	230	270	315	365	410	465	515
60			125	165	205	245	290	340	385	440	490
65				135	175	220	260	310	360	410	460
70					145	185	235	280	325	380	430
75						155	200	245	295	345	400
80							165	210	260	310	365
85								170	220	270	325
90									180	235	285
95										190	245
100											200

Türkiye otoyollarında aliyman uzunlukları; 120 km/h proje hızı için minimum 600 m, maksimum 3000 m, 100 km/h proje hızı için minimum 500 m, maksimum 2500 m, 80 km/h proje hızı için minimum 400 m, maksimum 2000 m olacak şekilde seçilmelidir (KGM 2005).

Demiryolları yatay geometri tasarımında aliymanların olabildiğince uzun olması istenir. Kurplar ve geçiş eğrileri yalnızca zorunlu durumlarda kullanılır. Bu bakımdan demiryolu yatay geometri tasarımlarında aliyman uzunlukları için belirlenmiş herhangi bir üst limit yoktur (Baykal 2009).

5.2 Yatay Kurp Tasarımı

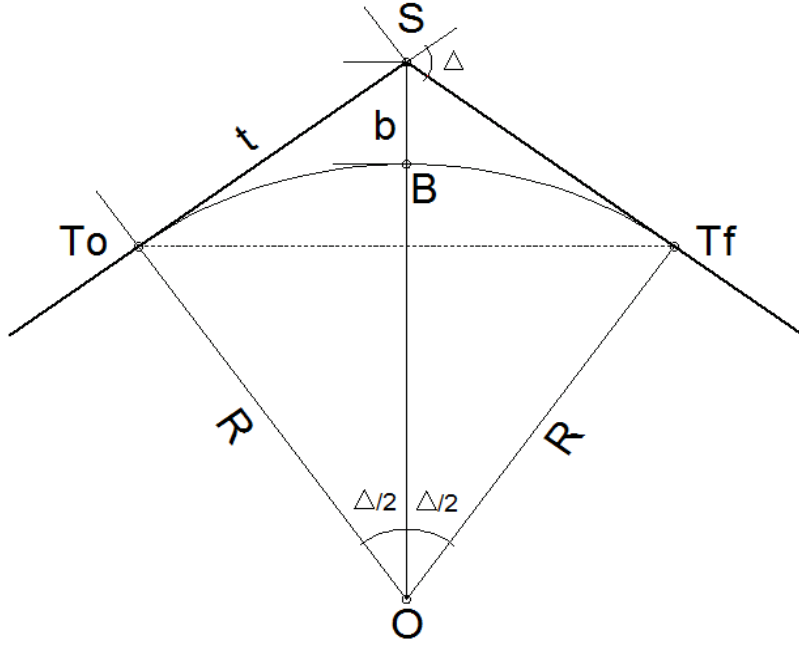
Yatay kurplar, bir yol geçkisinin planda daire yaylarından oluşan eğri kesimleridir. Yol güzergâhının kritik kesimlerini oluşturan yatay kurpların tasarımı güvenlik, konfor ve kapasite açısından son derece önemlidir. İyi tasarlanmış bir yatay kurp hızlı, güvenli ve konforlu ulaşım olanağı sağlar. Doğru tasarlanmamış yatay kurplarda işletme hızı düşeceğinden yoldan beklenen verimlilikte düşer ayrıca taşıtların savrulma ve devrilme etkilerine maruz kalmalarından dolayı birçok trafik kazası meydana gelme ihtimali doğar.

Yatay kurplar;

- Basit dairesel kurplar,
- Kombine kurplar,
- Geçiş eğrili kurplar

şeklinde tasarlanabilir.

Bu çalışmada yalnızca basit dairesel kurplar ele alınmış olup diğer kurp çeşitleri bu çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır.



Şekil 5.1 Yatay Kurbun Elemanları.

Bir yatay kurbun beş temel elemanı vardır. Şekil 5.1’de gösterilen bu elemanlar aşağıda sıralanmıştır.

- Sapma Açısı (Δ)
- Yarıçap (R)
- Teğet Uzunluğu (t)
- Developman Uzunluğu (D)
- Bisektris Uzunluğu (b)

Aliyman ile kurbun kesiştiği ilk teğet noktasına kurbun başlangıcı, girişi, birinci teğet noktası veya tanjant orijin adı verilir ve T_o sembolüyle gösterilir. Diğer teğet noktasına ise kurbun sonu, çıkışı, ikinci teğet noktası veya tanjant final adı verilir ve T_f sembolü ile gösterilir. İki teğet noktası arasında kalan daire yayı, developman veya kurbun uzunluğu olarak adlandırılır. Teğet noktalarından kurbun merkezine doğru çizilen dikler R yarıçapı mesafesinde kesişirler. Kesim noktası yatay kurbun merkezidir (O). Yatay daire yayının orta noktasına bisektris noktası (B), bu noktanın some noktasına olan mesafesine de bisektris uzunluğu (b) adı verilir.

Yatay kurplar tasarlanırken izin verilen minimum kurp yarıçapı, maksimum dever, minimum görüş mesafeleri gibi hususlar dikkate alınmalıdır. Ayrıca yatay kurplar tasarlanırken düşey geometri ile uyumlu olacak şekilde tasarım yapılmalıdır. Özellikle sapma açısı büyük, kurp yarıçapı küçük ve kurp uzunluğu kısa olan tasarımlardan ve birbirini takıp eden çok sayıda kurptan mümkün olduğunca kaçınılmalıdır (Tunç 2004).

Güzergâhın eğri kesimlerini oluşturan yatay kurplar üzerinde hareket eden araçlar merkezkaç kuvvetinin etkisiyle savrulabilirler. Bu nedenle yatay kurplar kazaların yoğun olarak gerçekleştiği kritik kesimlerdir. Değişik ülkelerde yatay kurplar ve kaza ilişkisi üzerine yapılan araştırmalar yol kesimleri içinde kurpların meydana gelen kazalar açısından yüksek bir orana sahip olduğu sonucunu çıkartmıştır. Konuyla ilgili yapılan bazı araştırma sonuçları aşağıda sıralanmıştır.

- Almanya kırsal yollarında Steyer vd. (2000) tarafından yapılan araştırmalara göre araştırma kapsamında gözlemlenen yol kesimlerinde meydana gelen kazaların yarıya yakınının kurplarda meydana geldiği sonucuna varılmıştır (Corben *et al.* 2004).
- Taylor ve Barker'in İngiltere'de bulunan iki şeritli kırsal yollar üzerinde yaptığı araştırmada yolun eğri kesimlerini oluşturan kurplarda meydana gelen kaza oranı diğer kesimler içinde % 18,5 olarak tespit edilmiştir (Corben *et al.* 2004).
- Danimarka kırsal yollarında yapılan araştırmalara göre meydana gelen kazalar arasında yaralanmalı kazaların % 20'sinin, ölümcül kazaların ise % 13'ünün yatay kurplarda meydana geldiği sonucuna varılmıştır (Corben *et al.* 2004).
- Fransa kırsal yollarında yapılan araştırmalara göre meydana gelen ölümcül kazaların % 21'i güzergâhın yatay kurp kesimlerinde meydana gelmektedir (Corben *et al.* 2004). Fransa'da iki şeritli şehirlerarası yollarda yapılan başka bir araştırmanın sonucuna göre (kavşak noktalarında meydana gelen kazalar hariç) yaralanmalı kazaların % 25 – 30' luk bir bölümü kurplarda meydana gelmekte, bu oranın tali yollarda % 45' e kadar yükselmektedir (OECD 1999).

- Avustralya'nın New South Wales Eyaleti için yayınlanan bir raporda kırsal yollarda meydana gelen ölümcül kazaların % 48'inin kurp ya da teğet kesimlerinde gerçekleştiği, bunun % 70'inin ise yarıçapı 300 metreden az olan keskin kurpların bulunduğu yerlerde gerçekleştiği belirtilmiştir (Corben *et al.* 2004).
- ABD ve Almanya'da Lamm, Guenther ve Choueiri (1995) tarafından yapılan araştırmaya göre kırsal kesimde yer alan yollarda meydana gelen kazaların en az % 30'luk bir bölümünün kurplu kesimlerde gerçekleştiği sonucuna varılmıştır (Corben *et al.* 2004).

Görüldüğü gibi yapılan araştırma sonuçları yatay kurpların tasarımında güvenlik ve konfor parametrelerinin önemini ortaya çıkarmaktadır. Tasarımlarda güvenlik ve konfor parametreleri kullanılarak belirlenen geometrik standartlara göre karayolu ve demiryolu projelerinin yapılması sayesinde, yatay kurplarda meydana gelen kaza oranları düşürülebilir. Yatay kurpların güzergâhın tehlikeli kesimleri olmaktan çıkartılması için tasarımda geometrik standartların mümkün olduğunca yüksek tutulması, minimum kurp yarıçapları, kurp uzunlukları, görüş mesafeleri, uygulanacak dever gibi tasarım elemanlarının yüksek standartlara göre belirlenmesi gerekir. Yatay kurplarda meydana gelen kazalara genel anlamda ani hız düşüşlerine sebep olan küçük yarıçaplı kurplar sebep olduğundan tasarımda özellikle minimum kurp yarıçapları iyi belirlenmeli ve tasarımda mümkün olduğunca büyük yarıçaplar kullanılmalıdır.

Yapılan araştırmalar, artan kurp yarıçapı ile kaza oranlarının düştüğünü göstermektedir. Jonston (1982) yüksek kaza oranlarının görüldüğü kritik kurp yarıçapını 600 m olarak tespit etmiştir. McBean (1988) kritik kurp yarıçapını 500 m olarak belirlemiştir. OECD tarafından kritik kurp yarıçapı 430 m olarak önerilmektedir. Krebs ve Klöckner (1977) yaptıkları araştırmalarla 400 metreden daha yüksek yarıçapı olan kurplarda yol güvenliğinin arttığını belirtmişlerdir (Dietze *et al.* 2005). Çizelge 5.3' de ABD ve Norveç'te yapılan araştırmalara göre kurp eğriliğinin azaltılması ve kurp yarıçaplarının yükseltilmesi sonucu kaza oranlarındaki değişim görülmektedir.

Çizelge 5.3 Kurp Eğriliği ve Yarıçapının Değiştirilmesi Sonucu Kaza Oranlarındaki Değişim (Zencirkıran 2011).

ABD (FHWA 1992)		
Kurp Eğrilik Derecesi	Yeni Eğrilik Derecesi	Kaza Azalma Oranı
30	25	% 16
30	20	% 33
30	15	% 50
30	10	% 66
30	5	% 83

Norveç (Elvik vd. 1997)		
Kurp Yarıçapı	Yeni Kurp Yarıçapı	Kaza Azalma Oranı
< 200 m	200 - 400 m	% 50
200 - 400 m	400 - 600 m	% 33
400 - 600 m	600 - 1000 m	% 23
600 - 1000 m	1000 - 2000 m	% 18
1000 - 2000 m	> 2000 m	% 12

6. MİNİMUM KURP YARIÇAPI VE HESABI

Geçki yatay geometrisi yatay kurp tasarımı aşamasında dikkate alınması gereken en önemli kıstaslardan birisi kurp yarıçapıdır. Güzergâhın farklı doğrultularını birleştiren kurplar yolun kritik kesimlerini oluşturmaktadır. Tasarım aşamasında araçların güvenli ve konforlu bir şekilde bu kesimleri geçmelerini sağlayacak en küçük kurp yarıçapı çok iyi belirlenmelidir (Kılınç ve Baybura 2012).

Güzergâhın kritik kesimlerini oluşturan yatay kurplarda kurp yarıçapının meydana gelen kazalar üzerinde belirgin bir etkisi vardır. Değişik ülkelerde yapılan araştırmalar ve kaza etüt sonuçlarına göre kurp yarıçapı arttıkça kaza riski azalmakta, kurp yarıçapının azalması ise kazaları ciddi oranda artırmaktadır. Kurp yarıçapı ve kazalar arasındaki ilişki konulu farklı ülkelerde yapılan araştırma sonuçları aşağıda sıralanmıştır.

- ABD'deki yollarda yapılan araştırmaya göre 5000 araç/gün' den daha küçük trafik hacmine sahip yollarda kurp yarıçapının artmasıyla kaza oranının azaldığı, küçük yarıçaplı tek bir kurbun meydana gelen kazalar açısından aynı yarıçaplı ve birbirini takip eden çok sayıda kurptan daha riskli olduğu sonuçlarına varılmıştır (Tunç 2004).
- Almanya'daki düşük ve yüksek hacimli yollarda yapılan araştırmalar düşük trafik hacimli yollardaki küçük yarıçaplı kurplarda kaza sıklığının daha fazla olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır (Tunç 2004).
- İngiltere yollarında yapılan araştırmalar ile küçük yarıçaplı keskin kurplarda meydana gelen kazaların yarıçapı büyük yumuşak kurplardan daha fazla olduğunu sonucunu göstermiştir (Tunç 2004).
- İsveç'teki iki şeritli yollarda yapılan araştırmaların sonucuna göre kurp yarıçapı 1000 m' den küçük olan kurplarda kaza oranlarının azaldığı, kurp yarıçapı 3300 m' den büyük olan kurplarda kurp uzunluğunun fazla olması ve sürücülerin hızlarını artırmaları gibi nedenlerle kaza oranlarının arttığı görülmüştür (Tunç 2004).

- Babkow (1975) Rusya'daki yollarda yaptığı araştırmalarda, Kurp yarıçapını, kurp yarıçapının aliymandan kurba geçişlerde oluşturduğu hız farklarına göre tehlikeli ve güvenli olarak sınıflandırmıştır. Buna göre kurplar, hız farkı % 20' den daha az ise güvenli kurp, hız farkı % 20 ile % 40 arasında ise nispeten güvenli kurp, hız farkı % 40 ile % 60 arasında ise tehlikeli kurp, hız farkı % 60' dan büyük ise çok tehlikeli kurp olarak sınıflandırılmıştır.
- Wilson tarafından yapılan araştırmalara göre kurp yarıçapı 170 m' de küçük kurplardaki kaza oranının kurp yarıçapı 910 m' den büyük olan kurplardaki kaz oranından 5 kat fazla olduğu sonucu çıkmıştır (Tunç 2004).

Türkiye' de çizelge 5.1' de verilen 2015 yılı Karayolları Genel Müdürlüğü kaza verilerine göre düşük kurp yarıçapına sahip yol kısımlarda meydana gelen kaza oranının yatay güzergâhta meydana gelen tüm kazalar içinde % 3.88 olduğu, normal kurplarda bu oranın % 12.34' e çıktığı görülmektedir. Ancak bu veriler yalnızca kaza sayıları ile ilgili olup, kurp yarıçapıyla kazalar arasındaki doğrudan ilişkiyi göstermemektedir.

Karayolu ve demiryollarında yatay kurplar hareket dinamiğinin önemli olduğu kritik kesimlerdir. Yatay kurpların tasarımı aşamasında güzergâh konforunun artırılması ve güvenliğinin sağlanması amacıyla üzerinde durulması gereken önemli bir konu üzerinde birçok faktörün etkili olduğu en küçük kurp yarıçaplarının belirlenmesidir. Geçki yatay geometrisinin tasarımı aşamasında, belirlenen en küçük kurp yarıçaplarından küçük yarıçaplar kullanılamaz. Bu nedenle minimum kurp yarıçapları tasarım açısından dikkate alınması gereken en önemli sınır değerlerden biridir. Çeşitli ülkelerde farklı tasarım hızlarına bağlı olarak önerilen minimum kurp yarıçapları çizelge 6.1'de verilmektedir (Tunç 2004).

Çizelge 6.1 Türkiye ve Çeşitli Ülkelerde Önerilen Minimum Kurp Yarıçapları.

Ülke	Tasarım Hızı (km/h)								
	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Avustralya (Dağlık)	-	-	105	160	270	440	530	670	785
Avustralya (Düz)	45	65	90	135	215	-	-	-	-
Avusturya	80	125	180	250	-	450	-	700	-
Belçika	-	120	-	240	-	425	-	650	-
Kanada	80	120	170	230	300	390	530	670	950
Danimarka	-	120	200	280	380	500	-	800	-
Fransa	-	120	-	240	-	425	-	665	-
Güney Amerika	80	125	180	250	335	440	560	710	-
İspanya	-	120	180	250	-	450	-	650	-
İsveç	160	-	350	-	500	-	625	-	-
İsviçre	75	120	175	240	320	420	525	650	-
Amerika	80	125	175	230	305	395	500	665	-
Türkiye	73	113	168	229	304	394	501	667	832

Minimum yatay kurp yarıçapı çeşitli yöntemlerle elde edilebilir. Bu yöntemleri birbirinden ayıran temel fark hesaplamalarda farklı parametrelerin kullanılmasıdır. Minimum yatay kurp yarıçapı belirleme yöntemleri aşağıda sıralanmıştır (Baykal 2009).

- Dever sınır değerlerine göre
- Yanal ivme sınır değerlerine göre
- Görüş uzaklıklarına göre
- Yanal sademe sınır değerlerine göre

Bu çalışmada geçki yatay geometrisi tasarımında kullanılacak minimum kurp yarıçapları dever, ivme ve sademe sınır değerlerine göre belirlenmiş olup, görüş uzunluklarına göre minimum kurp yarıçapının belirlenmesi bu çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır.

6.1 Dever Sınır Değerlerine Göre Minimum Yatay Kurp Yarıçapı Hesabı

Yol güzergâhında hareket eden bir araç güzergâhın doğru kesimini oluşturan aliymandan güzergâhın eğri kesimini oluşturan yatay kupba girdiğinde, kurp boyunca merkezkaç kuvvetinin etkisinde hareketine devam eder. Merkezkaç kuvvetinin taşıt

stabilitesini bozan savurma ve devirme etkisinden taşıtları korumak için yatay kurba enine bir eğim verilir. Yol ekseninin enine verilen ve düzenli bir artış gösteren artış gösteren bu eğime dever denilmektedir. Yatay kurplarda araçların maruz kaldığı yanal ivmenin yalnızca deverle karşılanması sağlayan dever ise teorik dever olarak adlandırılmaktadır. Teorik dever;

$$u_T = \tan \alpha \quad (6.1)$$

olarak ifade edilir. Yanal ivmeyi sıfırlayan teorik dever eşitliğinin bulunması için (2.10) yanal ivme bağıntısı kullanılır.

(2.10) yanal ivme bağıntısı sıfıra eşitlenerek ($a_Y=0$) ve (2.8) bağıntısı kullanılarak teorik dever (u_T) bağıntısı oluşturulur.

$$0 = k_Y \cdot v^2 \cos \alpha - \left(g + \sqrt{1 + W^2} \cdot k_D \cdot v^2 - a_T \cdot W \right) \sin \alpha \quad (6.2)$$

Eşitlik düzenlenirse;

$$\left(g + \sqrt{1 + W^2} \cdot k_D \cdot v^2 - a_T \cdot W \right) \sin \alpha = k_Y \cdot v^2 \cdot \cos \alpha \quad (6.3)$$

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{k_Y \cdot v^2}{\left(g + \sqrt{1 + W^2} \cdot k_D \cdot v^2 - a_T \cdot W \right)} \quad (6.4)$$

olur. Burada a_T ivmesinin etkisi yok denecek kadar az olduğu için ihmal edilebilir (Baykal 2009). Eşitlik düzenlenirse teorik dever bağıntısı aşağıdaki gibi elde edilir.

$$u_T = \frac{k_Y \cdot v^2}{g + \sqrt{1 + W^2} \cdot k_D \cdot v^2} \quad (6.5)$$

(6.5) bağıntısı yatay geometriye göre düzenlenirse ($k_D=0$);

$$u_T = \frac{k_Y \cdot v^2}{g} \quad (6.6)$$

(6.6) eşitliği elde edilir. Eşitlikteki yatay geometri eğrilik değeri $k_Y = \frac{1}{R}$ değerine eşit olduğundan bu değer yerine ($\frac{1}{R}$) değeri konularak eşitlik düzenlenirse;

$$u_T = \frac{v^2}{R \cdot g} \quad (6.7)$$

(6.7) eşitliği elde edilir. Eşitlikteki v proje hızı (m/s) birimine çevrilip, g yer çekim ivmesi değeri ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$) yerine yazılırsa;

$$u_T = \frac{v^2}{127,14 \cdot R} \quad (6.8)$$

(6.8) eşitliği elde edilir.

6.1.1 Karayolları İçin Dever Sınır Değerlerine Göre Minimum Yatay Kurp Yarıçapı Hesabı

Karayollarında uygulanacak dever, teorik deverin araca etki eden yanal sürtünme katsayısı (f_y) kadar küçültülmesi ile bulunur (Baykal 2009).

$$u_u = u_T - f_y \quad (6.9)$$

$$u_u = \frac{v^2}{127,14 \cdot R} - f_y \quad (6.10)$$

(6.10) eşitliği kurp yarıçapına (R) göre düzenlenirse, dever sınır değerlerine göre minimum kurp yarıçapını veren eşitlik elde edilir.

$$R_{min} = \frac{v^2}{127,14(u_u + f_y)} \quad (6.11)$$

The American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO 2011)'de yatay kurp tasarımlarında kullanılacak minimum kurp yarıçaplarını veren eşitlik benzer şekilde aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$R_{min} = \frac{v_t^2}{127(0,01e_{max} + f)} \quad (6.12)$$

Burada e_{max} değeri, deverin yüzde (%) cinsinden maksimum değerini ifade etmektedir. The American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO 2011) tarafından önerilen ve dever sınır değerlerine göre hesaplanmış minimum kurp yarıçapları çizelge 6.2' de verilmektedir.

Çizelge 6.2 Karayolu İçin Önerilen Minimum Kurp Yarıçapları (AASHTO 2011).

Tasarım Hızı (Km/h)	Maksimum e %	Maksimum f	Toplam (e/100+f)	Hesaplanan Yarıçap (m)	Yuvarlanmış Yarıçap (m)
15	4	0,40	0,44	4	4
20	4	0,35	0,39	8,1	8
30	4	0,28	0,32	22,1	22
40	4	0,23	0,27	46,7	47
50	4	0,19	0,23	85,6	86
60	4	0,17	0,21	135	135
70	4	0,15	0,19	203,1	203
80	4	0,14	0,18	280	280
90	4	0,13	0,17	375,2	375
100	4	0,12	0,16	492,1	492
15	6	0,40	0,46	3,9	4
20	6	0,35	0,41	7,7	8
30	6	0,28	0,34	20,8	21
40	6	0,23	0,29	43,4	43
50	6	0,19	0,25	78,7	79
60	6	0,17	0,23	123,2	123
70	6	0,15	0,21	183,7	184
80	6	0,14	0,2	252	252
90	6	0,13	0,19	335,7	336
100	6	0,12	0,18	437,4	437
110	6	0,11	0,17	560,4	560
120	6	0,09	0,15	755,9	756
130	6	0,08	0,14	950,5	951

Çizelge 6.2 (Devam) Karayolu İçin Önerilen Minimum Kurp Yarıçapları (AASHTO 2011).

Tasarım Hızı (Km/h)	Maksimum e %	Maksimum f	Toplam (e/100+f)	Hesaplanan Yarıçap (m)	Yuvarlanmış Yarıçap (m)
15	8	0.40	0.48	3.7	4
20	8	0.35	0.43	7.3	7
30	8	0.28	0.36	19.7	20
40	8	0.23	0.31	40.6	41
50	8	0.19	0.27	72.9	73
60	8	0,17	0,25	113,4	113
70	8	0,15	0,23	167,8	168
80	8	0,14	0,22	229,1	229
90	8	0,13	0,21	303,7	304
100	8	0,12	0,2	393,7	394
110	8	0,11	0,19	501,5	501
120	8	0,09	0,17	667	667
130	8	0,08	0,16	831,7	832

Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından kabul edilen minimum ve maksimum dever değerleri; otoyollar için düz ve dalgalı arazide maksimum % 5, dağlık arazide maksimum % 6, minimum % 2,5, kent dışı karayolları için maksimum % 8, çok şeritli yollarda minimum % 2,5, iki şeritli yollarda minimum % 2 şeklindedir (KGM 2005).

AASHTO tarafından kabul edilen dever sınır değerleri; kent dışı yollarda maksimum % 8, kentsel yollarda maksimum % 4-6, minimum % 1,5-2 şeklindedir (AASHTO 2011).

6.1.2 Demiryolları İçin Dever Sınır Değerlerine Göre Minimum Yatay Kurp Yarıçapı Hesabı

Demiryollarında dever, dış rayla iç ray arasındaki yükseklik farkı olarak tanımlanır. (2.14) yanal ivme eşitliği yukarıda karayolları için düzenlenen minimum kurp yarıçapı bağıntısı gibi düzenlenirse demiryolları için dever sınır değerlerine göre minimum kurp yarıçapını veren (6.14) eşitliği elde edilir.

$$a_y = \frac{1}{b} \left\{ \sqrt{b^2 - u^2} \cdot k_y \cdot v^2 - u \left(g + \sqrt{1 + W^2} \cdot k_D \cdot v^2 - a_T \cdot W \right) \right\} = 0 \quad (6.13)$$

$$R_{min} = \frac{\sqrt{b^2 - u_{max}^2} \cdot v^2}{127,14 \cdot u_{max}} \quad (6.14)$$

Literatürde bulunan bazı kaynaklarda belirtilen demiryolları için tasarımda kullanılacak minimum ve maksimum dever değerleri aşağıda sıralanmıştır (Baykal 2009).

- Evren (2002)'de demiryolları için maksimum dever değeri Türkiye için 150 mm, Polonya için 130 mm, Hollanda ve İsveç için 120 mm, Macaristan için 110 mm, Almanya için 160 mm, Fransa için 180 mm olarak verilmiştir.
- Bıçakçı (1977)'de maksimum dever 150 mm, deneme ve banliyö hatlarında ise 180 mm olarak verilmiştir.
- Müller (1988)'de normal hat genişliğine sahip ($b=1500$ mm) tramvay ve metro hatları için maksimum dever 150 mm, minimum dever 20 mm, dar hatlar için ($b=1000$ mm) maksimum 100 mm, minimum 10 mm olarak verilmiştir.
- Esveld (1989)'da çakıl balastlı hatlarda maksimum dever 120 mm, kırma taş balastlı hatlarda 150 mm, tek tip trafikli hatlarda 180 mm olarak verilmiştir.
- Çelen (1995)'de maksimum dever 140 mm, deneme hatları ve bazı özel hatlar için 180 mm olarak verilmiştir.

TSI standartlarında tasarım aşamasındaki yüksek hızlı demiryolları için dever 180 mm ile sınırlandırılmıştır. İşletimde olan demiryolları için maksimum dever sınır değeri TSI'de 190 mm olarak verilmiş olup, bu değer sadece yolcu taşımacılığına ayrılmış hatlarda 200 mm'ye çıkabilir (Ekim 2007).

Trafik kategorisine göre belirlenmiş maksimum dever sınır değerleri çizelge 6.3'de verilmiştir.

Çizelge 6.3 Dever Sınır Değerleri (Lindahl 2001).

Trafik Kategorisi	Yolcu Trenleri İçin Tasarlanmış Karışık İşletimde Olan Hatlar $200 < V \leq 300$	Özel Teknik Tasarıma Sahip Yolcu Trenleri İle Birlikte İşletilen Karışık Hatlar $V \leq 230$ (İyileştirilmiş Hatlarda $V \leq 250$)	Yolcu Trafikine Adanmış Yüksek Hızlı Hatlar $250 \leq V \leq 300$
Önerilen Sınır Değer (mm)	160	160	160
Maksimum Sınır Değer (mm)	180	180	200

Demiryolları için 0,15 m dever değerine göre hesaplanmış minimum kurp yarıçapları çizelge 6.4’de, farklı dever sınır değerlerine göre hesaplanan minimum yatay kurp yarıçapları EK-3, EK-4 ve EK-5’ de verilmiştir.

Çizelge 6.4 Demiryolu Dever Sınır Değerlerine Göre Minimum Kurp Yarıçapları
($u_{\max} = 0,15$ m).

v (Km/h)	$u_{\max}$ (m)	b (m)	Hesaplanmış $R_{\min}$ (m)	Yuvarlanmış $R_{\min}$ (m)
20	0,15	1,5	31,30	31
30	0,15	1,5	70,43	70
40	0,15	1,5	125,22	125
50	0,15	1,5	195,65	196
60	0,15	1,5	281,73	282
70	0,15	1,5	383,47	383
80	0,15	1,5	500,86	501
90	0,15	1,5	633,90	634
100	0,15	1,5	782,59	783
110	0,15	1,5	946,94	947
120	0,15	1,5	1126,93	1127
130	0,15	1,5	1322,58	1323
140	0,15	1,5	1533,88	1534
150	0,15	1,5	1760,83	1761
160	0,15	1,5	2003,44	2003
170	0,15	1,5	2261,69	2262
180	0,15	1,5	2535,60	2536
190	0,15	1,5	2825,16	2825
200	0,15	1,5	3130,37	3130
210	0,15	1,5	3451,23	3451
220	0,15	1,5	3787,75	3788
230	0,15	1,5	4139,91	4140
240	0,15	1,5	4507,73	4508
250	0,15	1,5	4891,20	4891
260	0,15	1,5	5290,32	5290
270	0,15	1,5	5705,10	5705
280	0,15	1,5	6135,52	6136
290	0,15	1,5	6581,60	6582
300	0,15	1,5	7043,33	7043
310	0,15	1,5	7520,71	7521
320	0,15	1,5	8013,74	8014
330	0,15	1,5	8522,43	8522
340	0,15	1,5	9046,76	9047
350	0,15	1,5	9586,75	9587
360	0,15	1,5	10142,39	10142
370	0,15	1,5	10713,68	10714
380	0,15	1,5	11300,63	11301
390	0,15	1,5	11903,22	11903
400	0,15	1,5	12521,47	12521

6.2 Yanal İvme Sınır Değerlerine Göre Minimum Yatay Kurp Yarıçapı Hesabı

Yatay geçki üzerinde hareket eden bir araç yatay kurba girdiğinde merkezkaç kuvvetinin sebep olduğu bir yanal ivmeye maruz kalır. Yanal ivme; yatay kurpta seyreden araçlara etkiyen merkezkaç kuvvetinin oluşturduğu savurma hızının birim zaman içindeki değişimi olarak tanımlanabilir.

Yanal ivme yolculuk konforunu ve güvenliğini belirlemek için kullanılan ölçütlerden birisidir. Karayolu ve demiryolu geçki tasarımlarında izin verilen ivme sınır değerlerinin dikkate alınarak gerekli tasarımların yapılması yolculuk konforu ve güvenliği tasarlanan sistemin verimliliği açısından son derece önemlidir. Son yıllarda hızla gelişen demiryolu yolcu taşımacılığı yüksek hızlarda seyahate olanak sağlamaktadır. Ulaşılan yüksek hızların yolculuk konforunu ve güvenliğini etkilememesi için geçki tasarımlarında konfor parametreleri dikkatle ele alınmalıdır.

Çeşitli kaynaklarda yer alan yanal ivme sınır değerleri aşağıda sıralanmıştır (Baykal, 2009)

- Megyeri (1993)'de sürekli eğrilik diyagramı için yanal ivme sınır değeri demiryolları için $0,65 \text{ m/s}^2$, eğrilik diyagramında sıçrama biçiminde süreksizlikler olması halinde $0,35 \text{ m/s}^2$ olarak verilmiştir.
- Esveld (1989)'da yanal ivme sınır değeri demiryolları için $0,80 \text{ m/s}^2$ olarak ifade edilmiştir.
- Förstberg (2000)'de yanal ivme sınır değeri demiryolları için $1,0 \text{ m/s}^2$ olarak belirtilmiştir.
- Schofield (2001)'de yanal ivme sınır değeri demiryolları için $1,22 \text{ m/s}^2$, karayolları için $2,45 \text{ m/s}^2$ olarak belirtilmiştir.
- Umar ve Yayla (1997)'de karayolları için yanal ivme sınır değeri $1,47 \text{ m/s}^2$ olarak belirtilmiştir.

Motorlu taşıt içindeki yolcuların kurbu geçişleri sırasında fazla rahatsız olmadan tahammül edebilecekleri en büyük yanal ivme değeri Alman RAL (Richtlinien für die Anlage von Landstrassen) yönetmeliğinde gözlem sonuçlarına dayanılarak, $1,47 \text{ m/s}^2$

olarak kabul edilmiştir.

Yanal ivme sınır değerlerine göre minimum kurp yarıçaplarının hesaplanması için öncelikle yanal ivmeye bağlı minimum kurp yarıçapını veren eşitliklerin belirlenmesi gerekir. Bağntı (2.14)' de verilen yanal ivme bağıntısından minimum kurp yarıçapını veren eşitlik elde edilebilir.

(2.14) bağıntısı kullanılarak karayolu ve demiryolları için yanal sademe sınır değerlerine bağlı minimum kurp yarıçaplarını veren eşitliğin oluşturulabilmesi için öncelikle yatay geometri eğriliğini ifade eden $\frac{1}{R}$ değeri bağıntıda yerine konmalıdır.

$$a_Y b = \left\{ \frac{\sqrt{b^2 - u^2} \cdot v^2}{R} - u \left(g + \sqrt{1 + W^2} \cdot k_D \cdot v^2 - a_T \cdot W \right) \right\} \quad (6.12)$$

$$a_Y b + u \left(g + \sqrt{1 + W^2} k_D \cdot v^2 - a_T \cdot W \right) = \frac{\sqrt{b^2 - u^2} \cdot v^2}{R} \quad (6.13)$$

(6.13) bağıntısı düzenlenerek yanal ivmeye bağlı minimum kurp yarıçapını veren eşitlik elde edilir.

$$R_{min} = \frac{\sqrt{b^2 - u^2} \cdot v^2}{a_Y \cdot b + u \left(g + \sqrt{1 + W^2} \cdot k_D \cdot v^2 - a_T \cdot W \right)} \quad (6.14)$$

6.2.1 Karayolları İçin Yanal İvme Sınır Değerlerine Göre Minimum Yatay Kurp Yarıçapı Hesabı

(6.14) eşitliği sabit hızlı hareket modelinde ($a_T=0$) yatay geometri için ($k_D=0$) v proje hızının birimi (m/s) olacak şekilde düzenlenirse karayolları için yeni eşitlik aşağıdaki gibi elde edilir.

$$R_{min} = \frac{v^2}{12,96(\sqrt{1 + q_{max}^2} \cdot a_Y + g \cdot q_{max})} \quad (6.15)$$

Karayolları için farklı proje hızlarında $1,47 \text{ m/s}^2$ yanal ivme sınır değerine göre hesaplanan minimum kurp yarıçapları çizelge 6.5’de verilmiştir. Hesaplama maksimum deyer değeri % 8 kabul edilmiştir.

Çizelge 6.5 Karayolu için Yanal İvme Sınır Değerlerine Göre Minimum Kurp Yarıçapları ($a_Y = 1,47 \text{ m/s}^2$), ($q_{\max} = \% 8$).

V (Km/h)	$q_{\max}$	$a_Y \text{ (m/s}^2\text{)}$	$1 + q_{\max}^2$	Hesaplanmış $R_{\min} \text{ (m)}$	Yuvarlanmış $R_{\min} \text{ (m)}$
30	0,08	1,47	1,01	30,74	31
40	0,08	1,47	1,01	54,64	55
50	0,08	1,47	1,01	85,37	85
60	0,08	1,47	1,01	122,93	123
70	0,08	1,47	1,01	167,33	167
80	0,08	1,47	1,01	218,56	219
90	0,08	1,47	1,01	276,61	277
100	0,08	1,47	1,01	341,49	341
110	0,08	1,47	1,01	413,21	413
120	0,08	1,47	1,01	491,75	492
130	0,08	1,47	1,01	577,13	577
140	0,08	1,47	1,01	669,33	669
150	0,08	1,47	1,01	768,36	768
160	0,08	1,47	1,01	874,23	874
170	0,08	1,47	1,01	986,92	987
180	0,08	1,47	1,01	1106,44	1106
190	0,08	1,47	1,01	1232,79	1233
200	0,08	1,47	1,01	1365,98	1366
210	0,08	1,47	1,01	1505,99	1506
220	0,08	1,47	1,01	1652,83	1653
230	0,08	1,47	1,01	1806,50	1807
240	0,08	1,47	1,01	1967,01	1967

6.2.2 Demiryolları İçin Yanal İvme Sınır Değerlerine Göre Minimum Yatay Kurp Yarıçapı Hesabı

Karayollarına benzer şekilde (6.14) bağıntısı kullanılarak sabit hızlı hareket modeli ve yatay geometride demiryolları için oluşturulan bağıntı aşağıdaki gibidir.

$$R_{min} = \frac{\sqrt{b^2 - u_{max}^2} \cdot v^2}{12,96(a_y \cdot b + g \cdot u_{max})} \quad (6.16)$$

Demiryolları için farklı proje hızlarında $0,35 \text{ m/s}^2$ yanal ivme sınır değerine göre hesaplanan minimum kurp yarıçapları çizelge 6.6'da, $0,65 \text{ m/s}^2$ yanal ivme sınır değerine göre hesaplanan minimum kurp yarıçapları EK-6'de, $1,22 \text{ m/s}^2$ yanal ivme sınır değerine göre hesaplanan minimum kurp yarıçapları EK-7'de verilmiştir. Hesaplamalarda TSI'de tasarım aşamasındaki hatlar için belirlenen $0,18 \text{ m}$ maksimum dever değeri ve $1,5 \text{ m}$ demiryolu hat genişliği değeri kullanılmıştır.

Çizelge 6.6 Demiryolu için Yanal İvme Sınır Değerlerine Göre Minimum Kurp Yarıçapları
($a_Y = 0,35 \text{ m/s}^2$), ($u_{\max} = 0,18 \text{ m}$).

v (Km/h)	$u_{\max}$ (m)	a_Y (m/s²)	b (m)	Hesaplanmış $R_{\min}$ (m)	Yuvarlanmış $R_{\min}$ (m)
30	0,18	0,35	1,5	45,14	45
40	0,18	0,35	1,5	80,26	80
50	0,18	0,35	1,5	125,40	125
60	0,18	0,35	1,5	180,57	181
70	0,18	0,35	1,5	245,78	246
80	0,18	0,35	1,5	321,02	321
90	0,18	0,35	1,5	406,29	406
100	0,18	0,35	1,5	501,59	502
110	0,18	0,35	1,5	606,93	607
120	0,18	0,35	1,5	722,29	722
130	0,18	0,35	1,5	847,69	848
140	0,18	0,35	1,5	983,12	983
150	0,18	0,35	1,5	1128,58	1129
160	0,18	0,35	1,5	1284,07	1284
170	0,18	0,35	1,5	1449,60	1450
180	0,18	0,35	1,5	1625,15	1625
190	0,18	0,35	1,5	1810,74	1811
200	0,18	0,35	1,5	2006,36	2006
210	0,18	0,35	1,5	2212,02	2212
220	0,18	0,35	1,5	2427,70	2428
230	0,18	0,35	1,5	2653,42	2653
240	0,18	0,35	1,5	2889,16	2889
250	0,18	0,35	1,5	3134,94	3135
260	0,18	0,35	1,5	3390,75	3391
270	0,18	0,35	1,5	3656,60	3657
280	0,18	0,35	1,5	3932,47	3932
290	0,18	0,35	1,5	4218,38	4218
300	0,18	0,35	1,5	4514,32	4514
310	0,18	0,35	1,5	4820,29	4820
320	0,18	0,35	1,5	5136,29	5136
330	0,18	0,35	1,5	5462,32	5462
340	0,18	0,35	1,5	5798,39	5798
350	0,18	0,35	1,5	6144,49	6144
360	0,18	0,35	1,5	6500,62	6501
370	0,18	0,35	1,5	6866,78	6867
380	0,18	0,35	1,5	7242,97	7243
390	0,18	0,35	1,5	7629,19	7629
400	0,18	0,35	1,5	8025,45	8025

6.3 Sademe Sınır Değerlerine Göre Minimum Kurp Yarıçapının Hesabı

Sademe yolculuk konforunu belirlemede kullanılan bir değerdir. Yapılan gözlemler, kurplarda $Z_Y = 0,3 \text{ m/s}^3$ değerinden itibaren sademenin hissedildiğini ve $Z_Y = 0,4 \text{ m/s}^3$ değerinin ise rahatsızlık verdiğini göstermiştir (Bostancı 2005).

The American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 2011) standartlarına göre karayollarında $0,3 \text{ m/s}^3$ ile 1 m/s^3 arasında değişen sademe değerleri kabul edilebilir değerlerdir. Literatürdeki bazı yanal sademe sınır değerleri çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.7 Karayolu ve Demiryolu için Sademe Sınır Değerleri.

$Z_Y (\text{m/s}^3)$	
Karayolu	Demiryolu
$Z_Y: 0,6$ (Kentsel Yollar - Schofield; 2001)	$Z_Y: 0,5$ (Megyeri; 1993)
$Z_Y: 0,3$ (Kırsal Yollar - Schofield; 2001)	$Z_Y: 0,2$ (Esveld; 1989)
$Z_Y: 0,6$ (Umar, Yayla; 1997)	$Z_Y: 0,4$ (Förstberg; 2000)
$Z_Y: 0,6$ (Uren, Price; 1985)	$Z_Y: 0,5$ (Evren; 2002)
$Z_Y: 0,5$ (Manns; 1985)	
$Z_Y: 0,3$ (AASHTO; 2011)	

Yanal sademe sınır değerlerine göre minimum kurp yarıçaplarının hesaplanması için öncelikle yanal sademeye bağlı minimum kurp yarıçapını veren eşitliklerin belirlenmesi gerekir. Bağntı (3.5)’ da verilen yanal sademe bağntısından minimum kurp yarıçapını veren eşitlik elde edilebilir.

Bağntı (3.5)’daki k_Y değeri herhangi bir noktadaki yatay geometri eğriliğini temsil etmektedir. k_Y ; (R_Y) yatay geometri eğrilik yarıçapı olmak üzere, $(\frac{1}{R_Y})$ değerine eşittir. (Baykal 2009). Yatay kurplarda yatay geometri eğrilik yarıçapı, yatay kurp yarıçapına eşittir.

Bağıntı (3.5)'daki, dever ve yatay geometri eğriliğinin yola göre türevleri sıfıra eşittir. Bağıntı (3.5)'da k_Y ifadesi yerine $(\frac{1}{R_Y})$ ifadesi getirilip eşitlik düzenlenirse (6.17) eşitliği elde edilir.

$$Z_Y = \frac{3 \cdot a_T \cdot b \cdot v}{R \sqrt{u^2 + b^2}} \quad (6.17)$$

6.3.1 Karayolları İçin Yanal Sademe Sınır Değerlerine Göre Minimum Yatay Kurp Yarıçapı Hesabı

(6.17) eşitliğindeki $\sqrt{u^2 + b^2}$ (yol platformu eğik genişliği) değeri, b (yol platformu yatay genişliği) değerine eşit alınabilir. Sademe ölçütüne göre en küçük kurp yarıçapını veren bağıntı karayolları için aşağıda verilmiştir.

$$R_{min} = \frac{3v_{max} \cdot a_T}{Z_Y} \quad (6.18)$$

Karayolu yatay kurp tasarımında kullanılacak en küçük yatay kurp yarıçapları farklı sademe değerlerine göre, 0-130 km/h hız aralığında (6.18) bağıntısına göre hesaplanmıştır. 0,3 m/s³ sademe değerine göre hesaplanan yarıçaplar çizelge 6.8'de, 0,4 m/s³ sademe değerine göre hesaplanan yarıçaplar EK-8'de, 0,5 m/s³ sademe değerine göre hesaplanan yarıçaplar EK-9'de, 0,6 m/s³ sademe değerine göre hesaplanan yarıçaplar EK-10'da, 0,7 m/s³ sademe değerine göre hesaplanan yarıçaplar EK-11'da, 0,8 m/s³ sademe değerine göre hesaplanan yarıçaplar EK-12'de, 0,9 m/s³ sademe değerine göre hesaplanan yarıçaplar EK-13'de, 1 m/s³ sademe değerine göre hesaplanan yarıçaplar EK-14'de verilmiştir. Yapılan hesaplamalarda daire yayı boyunca (2.6) bağıntısına bağlı olarak aracın maksimum $a_T = 2 \text{ m/s}^2$ 'lik sabit ivmeli hareket yaptığı kabul edilmiştir.

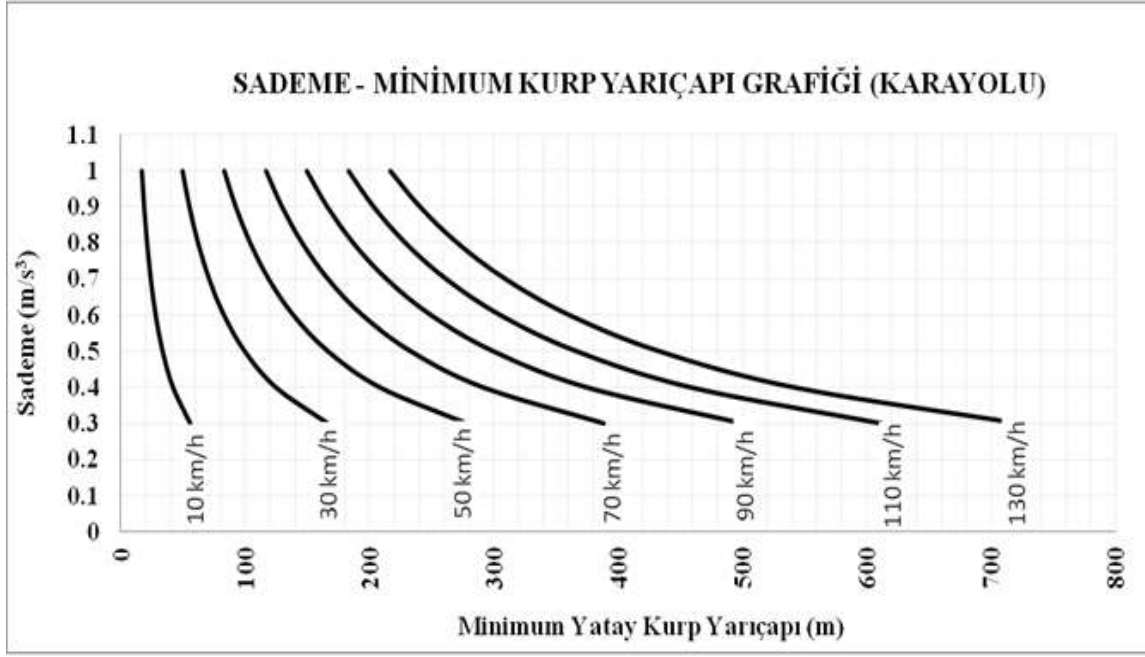
Çizelge 6.8 Karayolu İçin $0,3 \text{ m/s}^3$ Sademe Sınır Değerine Göre Hesaplanan Minimum Kurp Yarıçapları.

$v \text{ (Km/h)}$	$v \text{ (m/s)}$	$Z_Y \text{ (m/s}^3\text{)}$	$a_T \text{ (m/s}^2\text{)}$	Hesaplanmış $R_{\min} \text{ (m)}$	Yuvarlanmış $R_{\min} \text{ (m)}$
10	2,78	0,3	2	55,56	56
20	5,56	0,3	2	111,11	111
30	8,33	0,3	2	166,67	167
40	11,11	0,3	2	222,22	222
50	13,89	0,3	2	277,78	278
60	16,67	0,3	2	333,33	333
70	19,44	0,3	2	388,89	389
80	22,22	0,3	2	444,44	444
90	25	0,3	2	500	500
100	27,78	0,3	2	555,56	556
110	30,56	0,3	2	611,11	611
120	33,33	0,3	2	666,67	667
130	36,11	0,3	2	722,22	722

Karayolları için farklı sademe sınır değerlerine göre hesaplanan en küçük yatay daire yarıçapları çizelge 6.9'da, sademe – minimum kurp yarıçapı grafiği şekil 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.9 Karayolu İçin Sademe Sınır Değerlerine Göre Hesaplanan Minimum Kurp Yarıçapları.

$v \text{ (Km/h)}$	$R_{\min} \text{ (m)}$ $Z_Y \text{ (m/s}^3\text{)}$							
	$Z_Y: 0,3$	$Z_Y: 0,4$	$Z_Y: 0,5$	$Z_Y: 0,6$	$Z_Y: 0,7$	$Z_Y: 0,8$	$Z_Y: 0,9$	$Z_Y: 1$
10	56	42	33	28	24	21	19	17
20	111	83	67	56	48	42	37	33
30	167	125	100	83	71	63	56	50
40	222	167	133	111	95	83	74	67
50	278	208	167	139	119	104	93	83
60	333	250	200	167	143	125	111	100
70	389	292	233	194	167	146	130	117
80	444	333	267	222	190	167	148	133
90	500	375	300	250	214	188	167	150
100	556	417	333	278	238	208	185	167
110	611	458	367	306	262	229	204	183
120	667	500	400	333	286	250	222	200
130	722	542	433	361	310	271	241	217



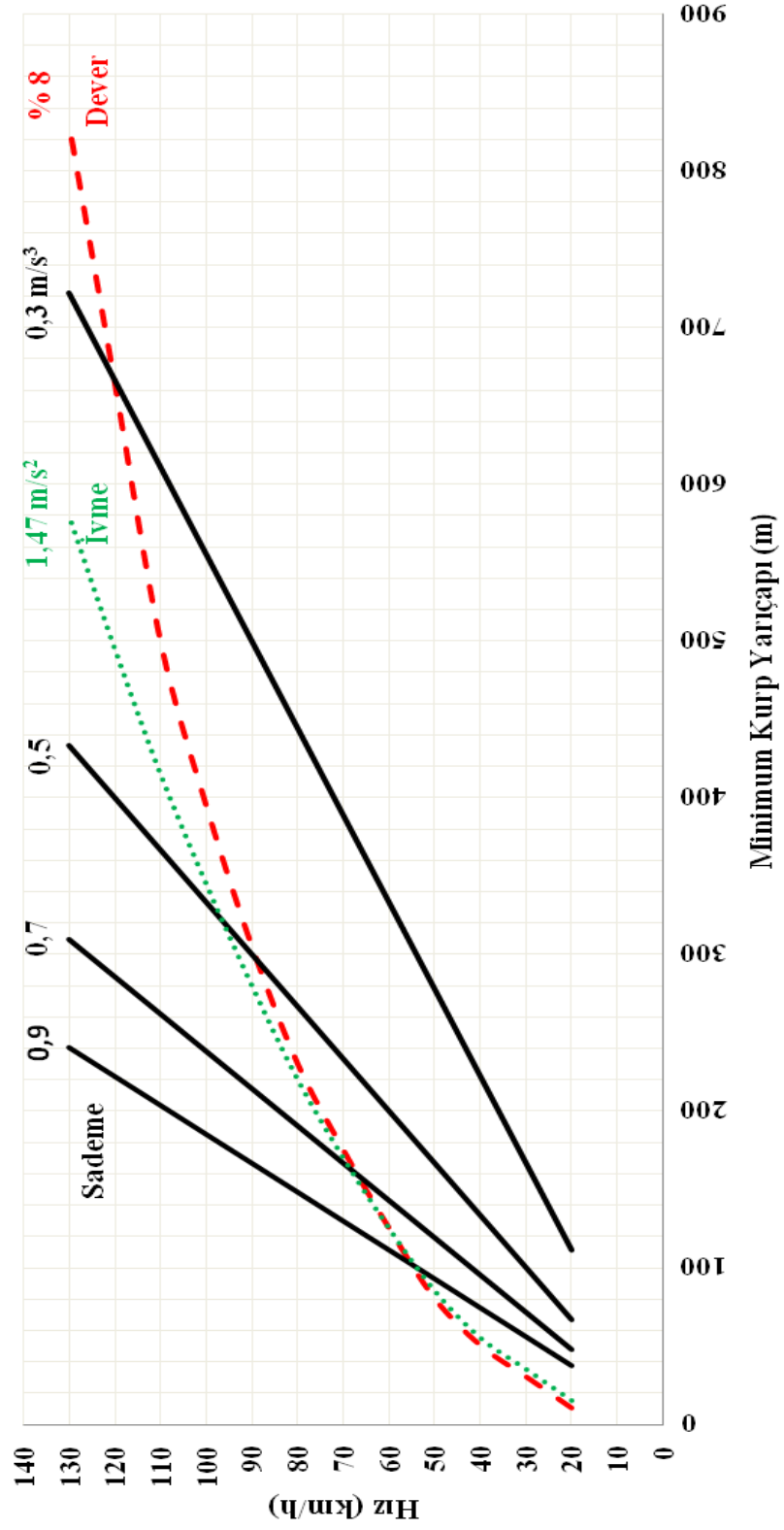
Şekil 6.1 Sademe – En Küçük Kurp Yarıçapı Grafiği (Karayolu).

Literatürdeki diğer ölçütlere ağırlık olarak (yanal ivme, dever) ve yanal sademe sınır değerleriyle hesaplanmış en küçük kurp yarıçapları karayolları için çizelge 6.10’da, hız – minimum kurp yarıçapı grafiği şekil 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.10 Sademe, Dever, Yanal İvme Sınır Değerlerine Göre En Küçük Yatay Kurp Yarıçapları (Karayolu).

v (Km/h)	R _{min} (m)					
	Z _Y (m/s ³)				a _Y (m/s ²)	q _{max} (%)
	Z _Y : 0,3	Z _Y : 0,5	Z _Y : 0,7	Z _Y : 0,9	a _Y : 1,47	q _{max} : % 8
20	111	70	50	40	15	15
30	170	100	75	55	35	30
40	225	135	95	75	55	55
50	280	170	120	95	90	85
60	335	200	145	115	125	125
70	390	235	170	140	170	175
80	445	270	190	150	220	230
90	500	300	215	170	280	305
100	555	335	240	185	345	395
110	615	370	265	205	415	500
120	670	400	285	225	495	670
130	725	435	310	240	580	830

Farklı Tasarım Hızlarında Sademe - İvme - Dever Sınır Değerlerine Göre Minimum
Kurp Yarıçapları (Karayolu)



Şekil 6.2 Hız - En Küçük Kurp Yarıçapı Grafiği (Karayolu).

6.3.2 Demiryolları İçin Yanal Sademe Sınır Değerlerine Göre Minimum Yatay Kurp Yarıçapı Hesabı

(6.17) eşitliği kullanılarak oluşturulan demiryolları için sademe sınır değerlerine göre en küçük yatay kurp yarıçapını veren bağıntı aşağıda verilmiştir.

$$R_{min} = \frac{3 \cdot v_{max} \sqrt{b^2 - u_{max}^2} \cdot a_T}{b \cdot Z_Y} \quad (6.19)$$

Demiryolu yatay kurp tasarımında kullanılacak en küçük yatay kurp yarıçapları farklı sademe değerlerine göre, 0-350 km/h hız aralığında (6.19) bağıntısına göre hesaplanmıştır. 0,2 m/s³ sademe değerine göre hesaplanan yarıçaplar çizelge 6.11’de, 0,3 m/s³ sademe değerine göre hesaplanan yarıçaplar EK-15’de, 0,4 m/s³ sademe değerine göre hesaplanan yarıçaplar EK-16’da, 0,5 m/s³ sademe değerine göre hesaplanan yarıçaplar EK-17’de verilmiştir.

Yapılan hesaplamalarda aracın daire yayı boyunca (2.6) bağıntısına bağlı olarak maksimum a_T : 2 m/s²’lik sabit ivmeli hareket yaptığı kabul edilmiştir. Hesaplamalarda izin verilen en büyük deyer u_{max} : 0,15 m, hat genişliği b : 1,5 m olarak alınmıştır.

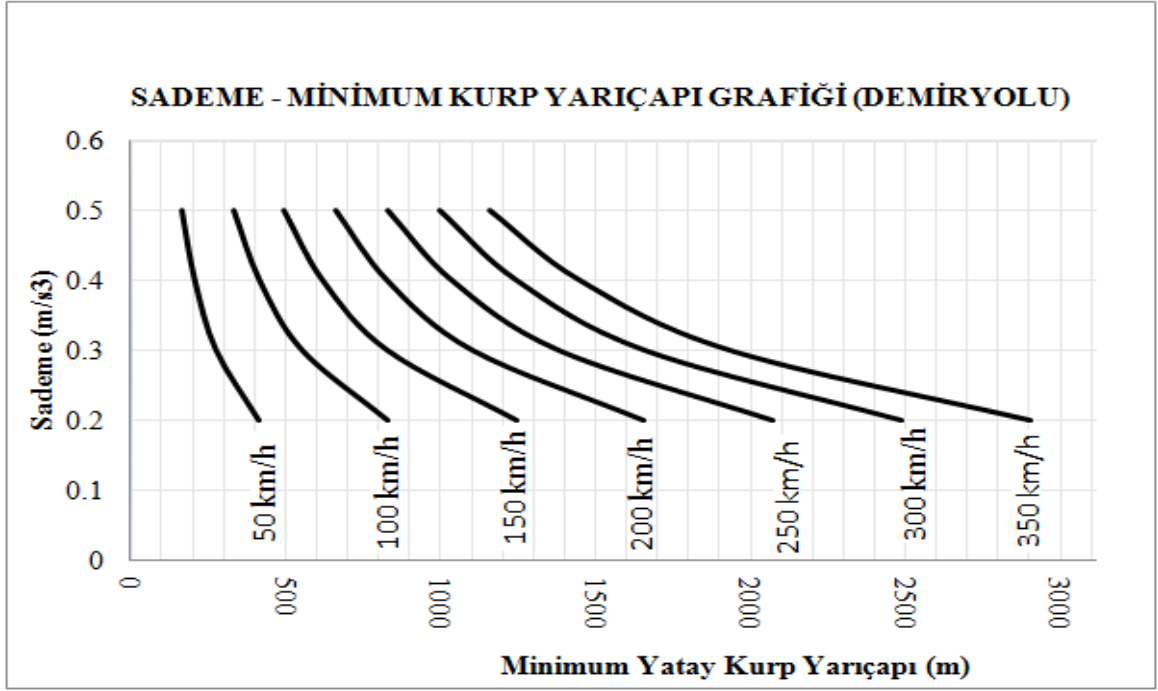
Çizelge 6.11 Demiryolu İçin 0,2 m/s³ Sademe Sınır Değerine Göre Hesaplanan Minimum Kurp Yarıçapları.

v (Km/h)	v (m/s)	Z_Y (m/s³)	u_{max} (m)	b (m)	a_T (m/s²)	Hesaplanmış R_{min} (m)	Yuvarlanmış R_{min} (m)
10	2,78	0,2	0,15	1,5	2	82,92	83
20	5,56	0,2	0,15	1,5	2	165,83	166
30	8,33	0,2	0,15	1,5	2	248,75	249
40	11,11	0,2	0,15	1,5	2	331,66	332
50	13,89	0,2	0,15	1,5	2	414,58	415
60	16,67	0,2	0,15	1,5	2	497,49	497
70	19,44	0,2	0,15	1,5	2	580,41	580
80	22,22	0,2	0,15	1,5	2	663,33	663
90	25	0,2	0,15	1,5	2	746,24	746
100	27,78	0,2	0,15	1,5	2	829,156	829
110	30,56	0,2	0,15	1,5	2	912,07	912
120	33,33	0,2	0,15	1,5	2	994,99	995
130	36,11	0,2	0,15	1,5	2	1077,90	1078
140	38,89	0,2	0,15	1,5	2	1160,82	1161
150	41,67	0,2	0,15	1,5	2	1243,73	1244
160	44,44	0,2	0,15	1,5	2	1326,65	1327
180	50	0,2	0,15	1,5	2	1492,48	1492
200	55,56	0,2	0,15	1,5	2	1658,31	1658
220	61,11	0,2	0,15	1,5	2	1824,14	1824
240	66,67	0,2	0,15	1,5	2	1989,98	1990
250	69,44	0,2	0,15	1,5	2	2072,89	2073
260	72,22	0,2	0,15	1,5	2	2155,814	2156
280	77,78	0,2	0,15	1,5	2	2321,64	2322
300	83,33	0,2	0,15	1,5	2	2487,47	2487
320	88,89	0,2	0,15	1,5	2	2653,30	2653
340	94,44	0,2	0,15	1,5	2	2819,13	2819
350	97,22	0,2	0,15	1,5	2	2902,05	2902

Demiryolları için farklı sademe sınır değerlerine göre hesaplanan en küçük yatay daire yarıçapları çizelge 6.12’de, sademe – minimum kurp yarıçapı grafiği şekil 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.12 Demiryolu İçin Sademe Sınır Değerlerine Göre Hesaplanan Minimum Kurp Yarıçapları.

V (Km/h)	$R_{min} (m)$			
	$Z_Y (m/s^3)$			
	$Z_Y: 0,2$	$Z_Y: 0,3$	$Z_Y: 0,4$	$Z_Y: 0,5$
10	83	55	41	33
20	166	111	83	66
30	249	166	124	99
40	332	221	166	133
50	415	276	207	166
60	497	332	249	199
70	580	387	290	232
80	663	442	332	265
90	746	497	373	298
100	829	553	415	332
110	912	608	456	365
120	995	663	497	398
130	1078	719	539	431
140	1161	774	580	464
150	1244	829	622	497
160	1327	884	663	531
180	1492	995	746	597
200	1658	1106	829	663
220	1824	1216	912	730
240	1990	1327	995	796
250	2073	1382	1036	829
260	2156	1437	1078	862
280	2322	1548	1161	929
300	2487	1658	1244	995
320	2653	1769	1327	1061
340	2819	1879	1410	1128
350	2902	1935	1451	1161



Şekil 6.3 Sademe – En Küçük Kurp Yarıçapı Grafiği (Demiryolu).

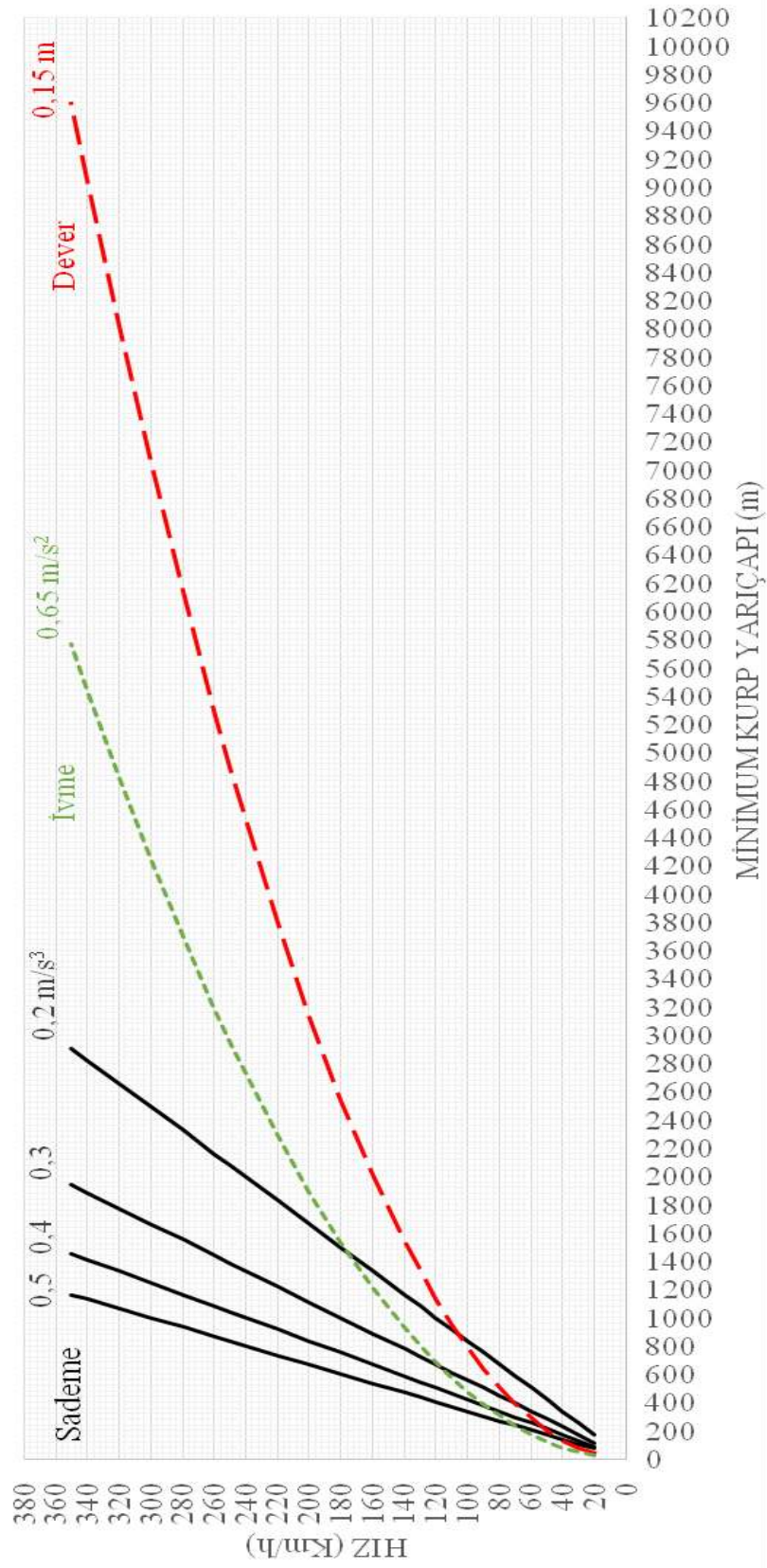
Sademe değeri yatay geometri tasarımında konfor ölçütü olarak kullanılır. Geçki tasarımında seçilecek sademe değeri ile yolculuk konfor ve güvenliği doğrudan ilişkilidir. Sabit proje hızında tasarım yapılırken sademe değeri ne kadar küçük seçilirse araç içindeki yolcuyu etkileyen kuvvet o kadar azalacağından ulaşım konforu ve güvenliği küçük sademe değerine bağlı olarak artmış olur. Şekil 6.1 ve şekil 6.3’ de görüldüğü gibi sabit proje hızında tasarım yapılırken, artan sademe değerine paralel olarak hesaplanan minimum kurp yarıçapları azalmaktadır.

Literatürdeki diğer eşitliklerle (Yanal ivme, Dever) ve yanal sademe sınır değerleriyle hesaplanmış en küçük kurp yarıçapları demiryolları için çizelge 6.13’ de, hız – minimum kurp yarıçapı grafiği şekil 6.4’de verilmiştir.

Çizelge 6.13 Sademe, Dever, Yanal İvmeye Göre En Küçük Yatay Kurp Yarıçapları (Demiryolu).

V (Km/h)	R_{min} (m)					
	Z_Y (m/s ³)				a_Y (m/s ²)	u_{max} (m)
	$Z_Y: 0,2$	$Z_Y: 0,3$	$Z_Y: 0,4$	$Z_Y: 0,5$	$a_Y: 0,65$	$u_{max}: 0,15$
20	165	110	85	70	20	35
30	250	165	125	100	45	70
40	335	225	165	135	75	125
50	415	280	210	165	120	195
60	500	335	250	200	170	285
70	580	390	290	235	230	385
80	665	445	335	265	305	500
90	750	500	375	300	385	635
100	830	555	415	335	470	785
110	915	610	460	365	570	950
120	995	665	500	400	680	1130
130	1080	720	540	435	795	1325
140	1160	775	580	465	925	1535
160	1330	885	665	530	1205	2005
180	1495	995	750	600	1525	2535
200	1660	1105	830	665	1885	3135
220	1825	1220	915	730	2280	3790
250	2075	1382	1040	830	2945	4890
260	2156	1437	1078	862	3183	5290
280	2322	1548	1161	929	3691	6136
300	2487	1658	1244	995	4237	7043
320	2653	1769	1327	1061	4821	8014
340	2819	1879	1410	1128	5442	9047
350	2902	1935	1451	1161	5767	9587

Farklı Tasarım Hızlarında Sademe - İvme - Dever Sınır Değerlerine Göre Minimum
Kurp Yarıçapları (Demiryolu)



Şekil 6.4 Hız - En Küçük Kurp Yarıçapı Grafiği (Demiryolu).

Çizelge 6.14’de karayolları için literatürde önerilen en küçük sademe değeri olan $0,3 \text{ m/s}^3$ sademe değerine göre hesaplanan minimum kurp yarıçapları ile çeşitli ülkelerde tasarım için önerilen minimum kurp yarıçapları verilmiştir.

Çizelge 6.14 $0,3 \text{ m/s}^3$ Sademe Değerine Göre Minimum Kurp Yarıçapları ve Çeşitli Ülkelerde Önerilen Minimum Kurp Yarıçapları (Karayolu).

Ülke	Tasarım Hızı (km/h)								
	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Z: $0,3 \text{ m/s}^3$	280	335	390	445	500	555	615	670	725
Avustralya (Dağlık)	-	-	105	160	270	440	530	670	785
Avustralya (Düz)	45	65	90	135	215	-	-	-	-
Avusturya	80	125	180	250	-	450	-	700	-
Belçika	-	120	-	240	-	425	-	650	-
Kanada	80	120	170	230	300	390	530	670	950
Danimarka	-	120	200	280	380	500	-	800	-
Fransa	-	120	-	240	-	425	-	665	-
Güney Amerika	80	125	180	250	335	440	560	710	-
İspanya	-	120	180	250	-	450	-	650	-
İsveç	160	-	350	-	500	-	625	-	-
İsviçre	75	120	175	240	320	420	525	650	-
Amerika	80	125	175	230	305	395	500	665	-
Türkiye	73	113	168	229	304	394	501	667	832

Çeşitli ülkelerde yüksek hızlı demiryolları için farklı proje hızları ve farklı dever değerleri için önerilen minimum kurp yarıçapları ile demiryollarında önerilen en küçük sademe sınır değeri olan $0,2 \text{ m/s}^3$ değeri ile hesaplanan minimum kurp yarıçapları çizelge 6.15’de verilmiştir.

Çizelge 6.15 $0,2 \text{ m/s}^3$ Sademe Değerine Göre Minimum Kurp Yarıçapları ve Çeşitli Ülkelerde Önerilen Minimum Kurp Yarıçapları (Demiryolu).

	$v_{\max} \text{ (km/h)}$	$u_{\max} \text{ (mm)}$	$R_{\min} \text{ (m)}$	$R_{\min} \text{ (m)}$ $Z_y: 0,2 \text{ m/s}^3$
Fransa	300	180	4000	2485
	350	180	6250	2900
Almanya	300	160	4000	2485
	350	170	5120	2900
İtalya	300	150	5450	2495
	350	130	7000	2910
İspanya	300	150	4000	2490
	350	150	6500	2905
Belçika	300	150	4800	2490

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ulaştırma sistemleri yatay geometri tasarımında tasarım ölçütü olarak kullanılacak en küçük yatay kurp yarıçapları konfor ölçütü sademe sınır değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Sademe ölçütüne bağlı minimum kurp yarıçapı bağıntıları, literatürdeki yanal sademe bağıntıları çözümlenerek elde edilmiştir. Elde edilen bağıntılar kullanılarak sademe sınır değerlerine göre karayolu ve demiryolları için en küçük yatay kurp yarıçapları hesaplanmıştır. Hesaplanan yatay kurp yarıçapları, ivme ve dever sınır değerleriyle hesaplanan yatay kurp yarıçaplarıyla karşılaştırılmış, ivme ve dever ölçütlerine göre hesaplanan yatay kurp yarıçaplarının konfor açısından kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Çeşitli proje hızlarında şekiller ve çizelgeler üzerinde yapılan karşılaştırma sonuçlarına göre, farklı proje hızlarında kullanılabilecek en uygun ölçütler tespit edilmiş, tasarımda o ölçüte göre hesaplanan yatay kurpların kullanılması önerilmiştir.

Karayolları için; çizelge 6.10 ve şekil 6.2 incelendiğinde; $Z: 0,3 \text{ m/s}^3$ sademe sınır değerine göre, 120 km/h hızına kadar en büyük minimum kurp yarıçapı değerlerinin sademe ile elde edilen değerler olduğu görülmektedir. 120 km/h hızına kadar ivme ve dever sınır değerlerine göre hesaplanan kurp yarıçapları konfor şartını sağlamamaktadır. 120 km/h hız değerinden sonraki hızlarda dever sınır değeri ile elde edilen minimum kurp yarıçapları, konfor ölçütüne (sademe) göre hesaplanan kurp yarıçaplarından büyük olduğu için tasarımda konfor şartlarını sağlamaktadır. Konfor, güvenlik ve kapasite bakımından kaliteli bir tasarım için, yatay güzergâh tasarımlarında 120 km/h hız değerine kadar sademe ile elde edilen minimum kurp yarıçapları tercih edilmelidir. 120 km/h hız değerinden sonra dever ölçütüne göre elde edilen yarıçaplar standartların yükseltilmesi bakımından tasarımda kullanılabilir.

$0,5 \text{ m/s}^3$ sademe değerine göre çizelge 6.10 ve şekil 6.2 incelendiğinde; 0-80 km/h hız aralığında yatay kurp tasarımı yapılırken en büyük minimum kurp yarıçapı değerlerinin sademe ile elde edilen değerler olduğu görülmektedir ve bu aralıkta yapılacak tasarımda sademe kıstasının dikkate alınması güvenlik ve konfor açısından önemlidir. 0-80 km/h hız aralığında dever sınır değerlerine göre hesaplanan kurp yarıçapları sademe açısından uygun değildir. 80 - 130 km/h hız aralığında dever sınır değerlerine göre hesaplanan

yarıçaplar konfor şartını sağlamaktadır ve tasarımda tercih edilebilir. 0-90 km/h hız aralığında ivme sınır değerlerine göre hesaplanan kurp yarıçapları sademe açısından uygun değildir ve bu hız aralığında tasarım yapılırken tercih edilmemelidir. 90-130 km/h hız aralığında ivme sınır değerlerine göre hesaplanan kurp yarıçapları sademe açısından uygundur ve tasarımda kullanılabilir.

0,7 m/s³ sademe değeri için çizelge 6.10 ve şekil 6.2 incelendiğinde; 70 km/h hızına kadar en büyük minimum kurp yarıçapı değerlerinin sademe ile elde edilen değerler olduğu görülmektedir ve bu hız aralığında tasarım yapılırken sademe sınır değerlerine göre hesaplanan yarıçaplar tercih edilmelidir. 70 km/h hızına kadar ivme ve dever sınır değerlerine göre hesaplanan kurp yarıçapları konfor şartını sağlamamaktadır. 70 - 130 km/h hız aralığında dever veya ivme sınır değerlerine göre hesaplanan minimum kurp yarıçapları sademe açısından uygundur ve tasarımda kullanılabilir.

0,9 m/s³ sademe değeri için çizelge 6.10 ve şekil 6.2 incelendiğinde; 50 km/h hızına kadar en büyük minimum kurp yarıçapı değerlerinin sademe ile elde edilen değerler olduğu görülmektedir ve bu hız aralığında tasarım yapılırken sademe sınır değerlerine göre hesaplanan yarıçaplar tercih edilmelidir. 50 km/h hızına kadar ivme ve dever sınır değerlerine göre hesaplanan kurp yarıçapları konfor şartını sağlamamaktadır. 50 - 130 km/h hız aralığında dever veya ivme sınır değerlerine göre hesaplanan minimum kurp yarıçapları sademe açısından uygundur ve tasarımda kullanılabilir.

Tüm ölçütler içinde 0-120 km/h hız aralığında konfor, güvenlik ve kapasite bakımından standartları en yüksek tasarıma olanak veren sademe değeri literatürde en küçük sademe olan 0,3 m/s³ değeri, minimum kurp yarıçapları ise bu değerle elde edilen yarıçaplardır. 120 km/h hızından sonraki hızlarda dever sınır değerlerine göre hesaplanan kurp yarıçapları tasarımda kullanılabilir ancak konfor sınır değerinden büyük kurp yarıçapları kurp boyunu ve yol uzunluğunu gereksiz arttıracığından tasarımda tercih edilmemelidir.

Karayolları için çizelge 6.14 incelendiğinde; 0-120 km/h hız aralığında Avustralya, Avusturya, Belçika, Kanada, Danimarka, Fransa, Güney Amerika, İspanya, İsviçre, Amerika ve Türkiye karayolları için önerilen minimum yatay kurp yarıçaplarının 0,3 m/s³

sademe sınır değerine göre hesaplanan kurp yarıçaplarından küçük olduğu ve konfor şartını sağlamadıkları görülmektedir. 0-120 km/h hız aralığında konfor açısından standartları yüksek bir tasarım için bu ülkeler için önerilen minimum kurp yarıçapları konfor şartını sağlayacak şekilde güncellenmelidir. 90-130 km/h hız aralığında İsveç için önerilen minimum kurp yarıçapları konfor şartını sağlamaktadır.

Demiryolları için; çizelge 6.13 ve şekil 6.4 incelendiğinde; $Z: 0,2 \text{ m/s}^3$ sademe sınır değerine göre, 100 km/h hızına kadar en büyük minimum kurp yarıçapı değerlerinin sademe ile elde edilen değerler olduğu görülmektedir. 100 km/h hızına kadar dever sınır değerlerine göre hesaplanan kurp yarıçapları, 180 km/h hızına kadar ise ivme sınır değerlerine göre hesaplanan yarıçaplar konfor şartını sağlamamaktadır. 100 km/h hız değerinden sonraki hızlarda dever sınır değeri ile elde edilen minimum kurp yarıçapları, konfor ölçütüne (sademe) göre hesaplanan kurp yarıçaplarından büyük olduğu için tasarımda konfor şartlarını sağlamaktadır. Konfor, güvenlik ve kapasite bakımından kaliteli bir tasarım için, yatay güzergâh tasarımlarında 100 km/h hız değerine kadar sademe ile elde edilen minimum kurp yarıçapları tercih edilmelidir. 100 km/h hız değerinden sonra dever ölçütüne göre elde edilen yarıçaplar, 180 km/h hız değerinden sonra ise ivme ölçütüne göre hesaplanan yarıçaplar standartların yükseltilmesi bakımından tasarımda kullanılabilir.

$0,3 \text{ m/s}^3$ sademe değeri için çizelge 6.13 ve şekil 6.4 incelendiğinde; 70 km/h hızına kadar en büyük minimum kurp yarıçapı değerlerinin sademe ile elde edilen değerler olduğu görülmektedir ve bu hız aralığında tasarım yapılırken sademe sınır değerlerine göre hesaplanan yarıçaplar tercih edilmelidir. 70 km/h hızına kadar dever sınır değerlerine göre hesaplanan kurp yarıçapları, 110 km/h hızına kadar ise ivme sınır değerlerine göre hesaplanan yarıçaplar konfor şartını sağlamamaktadır. Konfor, güvenlik ve kapasite bakımından kaliteli bir tasarım için, yatay güzergâh tasarımlarında 70 km/h hız değerine kadar sademe ile elde edilen minimum kurp yarıçapları tercih edilmelidir. 70 km/h hız değerinden sonra dever ölçütüne göre elde edilen yarıçaplar, 110 km/h hız değerinden sonra ise ivme ölçütüne göre hesaplanan yarıçaplar standartların yükseltilmesi bakımından tasarımda kullanılabilir.

0,4 m/s³ sademe değeri için çizelge 6.13 ve şekil 6.4 incelendiğinde; 50 km/h hızına kadar en büyük minimum kurp yarıçapı değerlerinin sademe ile elde edilen değerler olduğu görülmektedir ve bu hız aralığında tasarım yapılırken sademe sınır değerlerine göre hesaplanan yarıçaplar tercih edilmelidir. 50 km/h hızına kadar deyer sınır değerlerine göre hesaplanan kurp yarıçapları, 80 km/h hızına kadar ise ivme sınır değerlerine göre hesaplanan yarıçaplar konfor şartını sağlamamaktadır. Konfor, güvenlik ve kapasite bakımından kaliteli bir tasarım için, yatay güzergâh tasarımlarında 50 km/h hız değerine kadar sademe ile elde edilen minimum kurp yarıçapları tercih edilmelidir. 50 km/h hız değerinden sonra deyer ölçütüne göre elde edilen yarıçaplar, 80 km/h hız değerinden sonra ise ivme ölçütüne göre hesaplanan yarıçaplar standartların yükseltilmesi bakımından tasarımda kullanılabilir.

0,5 m/s³ sademe değeri için çizelge 6.13 ve şekil 6.4 incelendiğinde; 40 km/h hızına kadar en büyük minimum kurp yarıçapı değerlerinin sademe ile elde edilen değerler olduğu görülmektedir ve bu hız aralığında tasarım yapılırken sademe sınır değerlerine göre hesaplanan yarıçaplar tercih edilmelidir. 40 km/h hızına kadar deyer sınır değerlerine göre hesaplanan kurp yarıçapları, 70 km/h hızına kadar ise ivme sınır değerlerine göre hesaplanan yarıçaplar konfor şartını sağlamamaktadır. Konfor, güvenlik ve kapasite bakımından kaliteli bir tasarım için, yatay güzergâh tasarımlarında 40 km/h hız değerine kadar sademe ile elde edilen minimum kurp yarıçapları tercih edilmelidir. 40 km/h hız değerinden sonra deyer ölçütüne göre elde edilen yarıçaplar, 70 km/h hız değerinden sonra ise ivme ölçütüne göre hesaplanan yarıçaplar standartların yükseltilmesi bakımından tasarımda kullanılabilir.

Tüm ölçütler içinde 0-350 km/h hız aralığında konfor, güvenlik ve kapasite bakımından standartları en yüksek tasarıma olanak veren sademe değeri literatürde demiryolları için en küçük sınır değer olan 0,2 m/s³ değeri, minimum kurp yarıçapları ise bu değerle elde edilen yarıçaplardır. 100 km/h hız değerinden sonra deyer ölçütüne göre elde edilen yarıçaplar, 180 km/h hız değerinden sonra ise ivme ölçütüne göre hesaplanan yarıçaplar tasarımda kullanılabilir ancak konfor ölçütüne (sademe) göre hesaplanan yarıçaplardan büyük yarıçapların tercih edilmesi kurp boyunu ve yol uzunluğunu gereksiz artıracığından tasarımda sademe ölçütüne göre hesaplanan yarıçaplarından büyük

yarıçaplar tercih edilmemelidir.

Demiryolları için çizelge 6.15 incelendiğinde; Fransa, Almanya, İtalya, İspanya, Belçika yüksek hızlı demiryolları tasarımlarında 300 km/h ve 350 km/h hızları için önerilen minimum kurp yarıçaplarının $0,2 \text{ m/s}^3$ sademe sınır değerine göre hesaplanan minimum kurp yarıçaplarından çok büyük olduğu görülmektedir. Konforlu bir tasarım için sademe kıstasına göre hesaplanan minimum kurp yarıçapları yeterli olacağından bu ülkeler için önerilen minimum kurp yarıçapları, kurp boyu ve yol uzunluğunun gereksiz yere artmaması için düşürülmelidir.

Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde uygulamada kullanılabilecek ve mevcut standartları yükseltecek sonuçların elde edildiği görülmektedir. Sademe, geçki tasarımında güvenlik, konfor, kapasite ve işletme verimliliği açısından önemli bir ölçüttür. Yukarıda elde edilen sonuçlar ışığında aşağıdaki öneriler yapılmıştır.

- Karayolu, demiryolu ve hızlı tren yolu geçki tasarımında mevcut standartların yükseltilebilmesi ve insanlığın ihtiyacı olan hızlı, güvenli ve konforlu ulaştırma sistemlerinin tasarlanabilmesi için sademe ölçütü tasarımda dikkate alınmalı, sademe - yol - araç kinematiği arasındaki ilişki yeni araştırmalarla irdelenmelidir.
- Hâlihazırda tasarım için önerilen minimum kurp yarıçaplarından konfor ölçütüne göre hesaplanan yarıçaplardan küçük olanlar, konfor ölçütünü karşılayacak şekilde büyütülmelidir.
- Özellikle yüksek hızlı demiryolları için önerilen minimum kurp yarıçaplarından sademe ölçütüne göre hesaplanan yarıçaplara göre çok büyük olanlar yol uzunluğunun gereksiz yere artmasına sebebiyet vereceğinden tasarımda kullanılmamalı ve tasarım önerilen bu yarıçaplar küçültülmelidir.
- Karayolu ve demiryollarında kazalarının yoğun olarak yaşandığı kurp kesimleri sademe açısından sorgulanmalı, kazaların önlenmesi için sademe ölçütüne göre belirlenen kurp yarıçapından küçük yarıçaplı kurplar iyileştirilmelidir.

- Gelişen teknolojiyle günden güne hızlanan araçlara uygun yüksek hızlı karayolları tasarlanmalı özellikle 130 km/h hızından sonraki hızlarda güvenli ve konforlu ulaşımın sağlanabilmesi için sademe ölçütü tasarımda dikkate alınmalıdır.
- Sademenin yatay geometrinin dışında düşey geometride de etkili olabileceği düşünüldüğünde, karayolu ve demiryolu geçki düşey geometrisi tasarımlarında düşey kurpların sademe ölçütü dikkate alınarak tasarlanması için gerekli araştırmalar yapılmalıdır.
- Ülkemizde yüksek hızlı karayolları ve yüksek hızlı demiryolları için geometrik standartlar günümüz şartlarına uygun olarak belirlenmeli ve bu standartlar doğrultusunda yüksek hızlı karayolu ve demiryollarının etüt, proje ve inşası için yönetmelik ve teknik şartnameler hazırlanmalıdır.

8. KAYNAKLAR

- AASHTO (2011). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC, USA.
- Anderson, J., E. (1994). Maglev Performance Simulator, Report of Contract No: DTRS-57 - 94 - 00004, U.S. Department of Transportation.
- Babkow, V., F. (1975). Road Conditions and Trafic Safety, MIR Publishers, Moskow.
- Baybura, T. (2001). Geçki Düşey Geometrisinin Yanal Sademeye Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Baybura, T. ve Baykal, O. (2005). Geçki Düşey Geometrisinin Yanal Sademeye Etkisinin Araştırılması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım 2005, İTÜ, İstanbul.
- Baykal, O. (1996). On Concept of Lateral Change of Acceleration, ASCE, *Journal of Surveying Engineering*, **Vol.122**, No.3, 132-141.
- Baykal, O., Tarı, E., Coşkun, Z., Şahin M. (1997). New Transition Curve Joining Two Straight Lines, ASCE, *Journal of Transportation Engineering*, **123(5)**, 337 – 345.
- Baykal, O. (2009). Mühendislik Ölçmeleri-1, Kara ve Demir Yollarında Geçki Geometrisi Tasarımı ve Aplikasyonu, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Bıçakçı, O. (1977). Demiryollarında Yeni Bir Birleştirme Eğrisinin Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Bostancı, B. (2005). Klotoid Eğrisinde Yol Dinamiğinin İncelenmesi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita, Bilimsel ve Teknik

Kurultayı, Mart 2005, Ankara.

Corben, B., Koppel S., Fildes, B., Jacques, N., Symmons, M. and Johnston, I. (2004). Cost-Effective Infrastructure Measures on Rural Roads, Monash University Accident Research Centre, Melbourne.

Çelen, M. (1995). Demiryolları için Güncel Geçiş Eğrileri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Dietze, M., Ebersbach, D., Lippold, C., Mallschutzke, K., and Gatti, G. (2005). Road Geometry, Driver Behaviour and Road Safety, RIPCORDER-ISEREST Workpackage 10 Report, Brussels, Belgium.

Ekim, O. (2007). Yüksek Hızlı Demiryolları İçin Geometrik Özellikler ve Altyapı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Esveld, C. (1989). Modern Railway Track, Graphics Department of Thyssen Stahl A. G., Duisburg, Germany.

Evren, G. (2002). Demiryolu, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Förstberg, J. (2000). Ride Comfort and Motion Sickness in Tilting Trains, PhD thesis, Department of Vehicle Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

Jakobs, E. (1987). Die Sinusoide als neuzeitliches Trassierungselement, *Vermessungs – Ingenieur*, **87(1)**, 60 – 68.

Kahler, D. (1989). Die Stauchklothoide als Übergangsbogen in engen Ausfahrten, *Vermessungstechnik und Raumordnung*, **51(2)**, 116-124.

Kahler, D. (1990b). Übergangsbögen zur Ausrundung der Neigungswechsel im Schienen-Schnellverkehr, *Zeitschrift für Vermessungswesen*, **115(4)**, 154-162.

KGM (2005). Karayolları Tasarım El Kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.

KGM (2016). Trafik Kazaları Özeti 2015, Karayolları Genel Müdürlüğü, Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Kılınç, A.S. and Baybura, T. (2012). Determination of Minimum Horizontal Curve Radius Used in the Design of Transportation Structures Depending on the Limit Value of Comfort Criterion Lateral Jerk, FIG Working Week, Knowing to Manage the Territory, Protect the Environment the Cultural Heritage, 6-10 May 2012, Rome, Italy.

Kobryn, A. (1991b). Zur Kurvenüberleitung bei der Ausfahrt von Autobahnen, *Vermessungstechnik und Raumordnung*, **53(8)**, 385-391.

Kobryn, A. (1993). Allgemeine Mathematische Übergangskurven als Trassierungselement, *Zeitschrift für Vermessungswesen*, **93(5)**, 227-242.

Lindahl, M. (2001). Track Geometry for High-Speed Railways, Department of Vehicle Engineering Royal Institute of Technology, Stockholm.

Manns, K. (1985). Querbesehleunigung und Querruck in der Übergangsbogenbemessung; Dissertation, Fachbereich Wasser und Verkehr der Technischen Hochschule Darmstadt, Deutschland.

Megyeri, I. (1993). Eisenbahn – Bewegungsgeometrie, Akademiai Kiado, Jeno, Hungary.

Müller, G. (1988). Ingenieurgeodaesie – Verkehrsbau (Strassenbau), VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, Deutschland.

OECD (1999). Safety Strategies for Rural Roads, Organisation for Economic Co-operation and Development, Road Transport and Intermodal Research, Paris.

- O'Flaherty, C. A. (1986). Highways, Volume 1, *Traffic Planning and Engineering*, Third Edition, Edward Arnold, London, England.
- Schofield, W. (2001). Engineering Surveying – Theory and Examination Problems for Students, Butterworth-Heinemann, Oxford, New Delhi.
- Schot, S.H. (1978). The Time Rate of Change of Acceleration, *American Journal of Physics*, **46**, No. 11, 1090-1094.
- Tarı, E. and Baykal, O. (1995). A New Transition Curve, Proc. Symp. 27-29 September 1st Turkish-German Joint Geodetic Days, İstanbul.
- Tarı, E. (1997). Geçki Tasarımında Yeni Eğri Yaklaşımları, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tunç, A. (2004). Yol Güvenlik Mühendisliği ve Uygulamaları, Asıl Yayın, Ankara
- Uren, J. and Price, W. F. (1985). Surveying for Engineers, Second edition, Macmillan Education Ltd., Basingstoke and London, England.
- Yayla, N. (2002). Karayolu Mühendisliği, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Zencirkıran, B. (2011). Karayolu Güvenliği: İki Şeritli Kırsal Yollarda Güvenlik Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

EKLER

EK-1 Kent Dışı Devlet Yollarında Uygulanan Karayolu Geometrik Standartları (KGM 2005).

KARAYOLLARI GEOMETRİK STANDARTLARI (ÖZET TABLO - I)												
TOPOĞRAFİK YAPI	TASARIM ELEMANLARI		KARAYOLU GEOMETRİK SINIFLARI									
			KENT DIŞI YOLLAR									
			ÇOK ŞERİTLİ YOLLAR (2x2)	İKİ ŞERİTLİ YOLLAR								
				1.SINIF		2.SINIF		3. SINIF		4.SINIF		
DÜZ	Tasarım Hızı	km/saat	100	90	100	80	80	70	70	60	50	40
	Hizmet Seviyesi	A,B,C,D,E,F	B	B	B	B	C	C	C	C	D	D
	Min DGM	m	180	150	180	125	125	100	100	80	65	50
	MinGGM	m	670	615	670	540	540	485	485	410	345	270
	Max Dever	%	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	Enine Eğim	%	2.5	2.5	2	2	2	2	2	2	2	2
	Max Boyuna Eğim	%	4	4	4	4	5	5	6	6	10	10
	Min Kurp Yarıçapı	m	395	305	395	230	230	175	175	125	80	50
	Min Düşey Kurp Yarıçapı	Açık	4400	3500	4400	2800	2800	2200	2200	1600	1300	900
		Kapalı	7400	5100	7400	3500	3500	2300	2300	1500	1000	600
	f _{max}		0.12	0.13	0.12	0.14	0.14	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17
	Şerit Genişliği	m	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3	3	3	3
	Banket Genişliği	İç	1	1								
		Dış	2.5	2.5	2.5	2.5	1.5	1.5	1	1	0.5	0.5
	K Katsayısı (DGM için)	Açık	44	35	44	28	28	22	22	16	13	9
		Kapalı	73	51	73	35	35	23	23	14	10	6
Orta Refüj Genişliği	m	4	4									
Platform Genişliği	m	26*	26*	12	12	10	10	8	8	7	7	
Köprüler **	ton	Köprülerde gabari platform genişliği kadar olacaktır.										
Kamulaştırma	m	Kamulaştırma genişliği projenin gerektirdiği kadar olacaktır.										
DALGALI	Tasarım Hızı	km/saat	90	80	80	70	70	60	60	50	40	30
	Hizmet Seviyesi	A,B,C,D,E,F	B	B	B-C	B-C	C-D	C-D	D	D	D	D
	Min DGM	m	150	125	125	100	100	80	80	65	50	30
	MinGGM	m	615	540	540	485	485	410	410	345	270	200
	Max Dever	%	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	Enine Eğim	%	2.5	2.5	2	2	2	2	2	2	2	2
	Max Boyuna Eğim	%	5	5	6	6	7	7	8	8	12	12
	Min Kurp Yarıçapı	m	305	230	230	175	175	125	125	80	50	30
	Min Düşey Kurp Yarıçapı	Açık	3500	2800	2800	2200	2200	1600	1600	1300	900	900
		Kapalı	5100	3500	3500	2300	2300	1500	1500	1000	600	600
	f _{max}		0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15	0.16	0.17	0.17
	Şerit Genişliği	m	3.5	3.5	3.5	3.5	3.25	3.25	3	3	2.75	2.75
	Banket Genişliği	İç	1	1								
		Dış	2.5	2.5	2.5	2.5	1.5	1.5	1	1	0.5	0.5
	K Katsayısı (DGM için)	Açık	35	28	28	22	22	16	16	13	9	4
		Kapalı	51	35	35	23	23	14	14	10	6	2
Orta Refüj Genişliği	m	4	4									
Platform Genişliği	m	26*	26*	12	12	9.5	9.5	8	8	6.5	6.5	
Köprüler **	ton	Köprülerde gabari platform genişliği kadar olacaktır.										
Kamulaştırma	m	Kamulaştırma genişliği projenin gerektirdiği kadar olacaktır.										
DAĞLIK	Tasarım Hızı	km/saat	80	60	70	60	60	40	50	30	30	20
	Hizmet Seviyesi	A,B,C,D,E,F	B-C	B-C	C	C	D	D	D	D	D	D
	Min DGM	m	125	80	100	80	80	50	65	30	30	20
	MinGGM	m	540	410	485	410	410	270	345	200	200	200
	Max Dever	%	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	Enine Eğim	%	2.5	2.5	2	2	2	2	2	2	2	2
	Max Boyuna Eğim	%	6	6	7	7	8	8	9	9	16	16
	Min Kurp Yarıçapı	m	230	125	175	125	125	50	80	30	30	10
	Min Düşey Kurp Yarıçapı	Açık	2800	1600	2200	1600	1600	900	1300	900	900	900
		Kapalı	3500	1500	2300	1500	1500	600	1000	600	600	600
	f _{max}		0.14	0.15	0.14	0.15	0.15	0.17	0.16	0.17	0.17	0.18
	Şerit Genişliği	m	3.5	3.5	3.5	3.5	3.25	3.25	3	3	2.5	2.5
	Banket Genişliği	İç	1	1								
		Dış	2.5	2.5	2.5	2.5	1.5	1.5	1	1	0.5	0.5
	K Katsayısı (DGM için)	Açık	28	16	22	16	16	9	13	4	4	3
		Kapalı	35	14	23	14	14	6	10	2	2	1
Orta Refüj Genişliği	m	2	2									
Platform Genişliği	m	23	23	12	12	9.5	9.5	8	8	6	6	
Köprüler **	ton	Köprülerde gabari platform genişliği kadar olacaktır.										
Kamulaştırma	m	Kamulaştırma genişliği projenin gerektirdiği kadar olacaktır.										
*Çok şeritli yollarda otokorkuluk ve drenaj ızgara payı gözönüne alınarak PG sağda ve solda 0.5m geniş tutulmuştur.												
** Köprü hesaplarında kullanılan hareketli yükler "Yol Köprüleri için Teknik şartname" den alınacaktır.												

EK-2 Kent İçi Devlet Yollarında Uygulanan Karayolu Geometrik Standartları (KGM 2005).

KARAYOLLARI GEOMETRİK STANDARTLARI (ÖZET TABLO - II)											
TOPOĞRAFİK YAPI	TASARIM ELEMANLARI			KARAYOLU GEOMETRİK SINIFLARI							
				KENTSEL YOLLAR (KENT GEÇİŞLERİ)							
				ÇEVRE YOLLARI				KENT İÇİNDEN GEÇEN YOLLAR			
				ÇOK ŞERİTLİ		İKİ ŞERİTLİ		ÇOK ŞERİTLİ		İKİ ŞERİTLİ	
DÜZ	Tasarım Hızı		km/saat	100	60	90	60	80	60	70	50
	Hizmet Seviyesi	A,B,C,D,E,F		C	C	C	C	C	C	C-D	C-D
	Min DGM		m	180	80	150	80	125	80	100	65
	MinGGM		m	670	410	615	410	540	410	485	345
	Max Dever		%	8	8	8	8	4	4	4	4
	Enine Eğim		%	2.5	2.5	2	2	2.5	2.5	2	2
	Max Boyuna Eğim		%	4	4	4	4	4	4	4	4
	Min Kurp Yarıçapı		m	395	125	305	125	280	150	215	100
	Min Düşey Kurp Yarıçapı	Açık	m	4400	1600	3500	1600	2800	1600	2200	1300
		Kapalı	m	7400	1500	5100	1500	3500	1500	2300	1000
	f_{max}			0.12	0.15	0.13	0.15	0.14	0.15	0.14	0.16
	Şerit Genişliği		m	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
	Banket Genişliği	İç	m	1	1			1	1		
		Dış	m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	K Katsayısı (DGM için)	Açık		44	16	35	16	28	16	22	13
		Kapalı		73	14	51	14	35	14	23	10
	Orta Refüj Genişliği		m	4	4			4	4		
	Platform Genişliği		m	26*	26*	12	12	26*	26*	12	12
Köprüler **		ton	Köprülerde gabari platform genişliği kadar olacaktır.								
Kamulaştırma		m	Kamulaştırma genişliği projenin gerektirdiği kadar olacaktır.								
DALGALI	Tasarım Hızı		km/saat	80	60	80	60	70	50	60	30
	Hizmet Seviyesi	A,B,C,D,E,F		C	C	C	C	C	C	C-D	C-D
	Min DGM		m	125	80	125	80	100	65	80	30
	MinGGM		m	540	410	540	410	485	345	410	200
	Max Dever		%	8	8	8	8	4	4	4	4
	Enine Eğim		%	2.5	2.5	2	2	2.5	2.5	2	2
	Max Boyuna Eğim		%	5	5	6	6	5	5	6	6
	Min Kurp Yarıçapı		m	230	125	230	125	215	100	150	35
	Min Düşey Kurp Yarıçapı	Açık	m	2800	1600	2800	1600	2200	1300	1600	900
		Kapalı	m	3500	1500	3500	1500	2300	1000	1500	600
	f_{max}			0.14	0.15	0.14	0.15	0.14	0.16	0.15	0.17
	Şerit Genişliği		m	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
	Banket Genişliği	İç	m	1	1			1	1		
		Dış	m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	K Katsayısı (DGM için)	Açık		28	16	28	16	22	13	16	4
		Kapalı		35	14	35	14	23	10	14	2
	Orta Refüj Genişliği		m	4	4			4	4		
	Platform Genişliği		m	26*	26*	12	12	26*	26*	12	12
Köprüler **		ton	Köprülerde gabari platform genişliği kadar olacaktır.								
Kamulaştırma		m	Kamulaştırma genişliği projenin gerektirdiği kadar olacaktır.								
DAĞLIK	Tasarım Hızı		km/saat	80	60	60	50	60	40	60	30
	Hizmet Seviyesi	A,B,C,D,E,F		C	C	C	C	C	C	C-D	C-D
	Min DGM		m	125	80	80	65	80	50	80	30
	MinGGM		m	540	410	410	345	410	270	410	200
	Max Dever		%	8	8	8	8	4	4	4	4
	Enine Eğim		%	2.5	2.5	2	2	2.5	2.5	2	2
	Max Boyuna Eğim		%	6	6	7	7	6	6	7	7
	Min Kurp Yarıçapı		m	230	125	125	80	150	60	150	35
	Min Düşey Kurp Yarıçapı	Açık	m	2800	1600	1600	1300	1600	900	1600	900
		Kapalı	m	3500	1500	1500	1000	1500	600	1500	600
	f_{max}			0.14	0.15	0.15	0.16	0.15	0.17	0.15	0.17
	Şerit Genişliği		m	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
	Banket Genişliği	İç	m	1	1			1	1		
		Dış	m	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
	K Katsayısı (DGM için)	Açık		28	16	16	13	16	9	16	4
		Kapalı		35	14	14	10	14	6	14	2
	Orta Refüj Genişliği		m	2	2			2	2		
	Platform Genişliği		m	23	23	12	12	23	23	12	12
Köprüler **		ton	Köprülerde gabari platform genişliği kadar olacaktır.								
Kamulaştırma		m	Kamulaştırma genişliği projenin gerektirdiği kadar olacaktır.								
*Çok şeritli yollarda otokorkuluk ve drenaj ızgara payı gozonune alınarak PG sağda ve solda 0.5 m. geniş tutulmuştur.											
**Köprü hesaplarında kullanılan hareketli yükler "Yol Köprüleri için Teknik Şartname" den alınacaktır.											

EK-3 Demiryolu Dever Sınır Değerlerine Göre Minimum Kurp Yarıçapları ($u_{\max}=0,16$ m).

v (Km/h)	$u_{\max}$ (m)	b (m)	Hesaplanmış $R_{\min}$ (m)	Yuvarlanmış $R_{\min}$ (m)
20	0,16	1,5	29,33	29
30	0,16	1,5	65,99	66
40	0,16	1,5	117,31	117
50	0,16	1,5	183,29	183
60	0,16	1,5	263,94	264
70	0,16	1,5	359,25	359
80	0,16	1,5	469,23	469
90	0,16	1,5	593,87	594
100	0,16	1,5	733,17	733
110	0,16	1,5	887,13	887
120	0,16	1,5	1055,76	1056
130	0,16	1,5	1239,06	1239
140	0,16	1,5	1437,01	1437
150	0,16	1,5	1649,63	1650
160	0,16	1,5	1876,91	1877
170	0,16	1,5	2118,86	2119
180	0,16	1,5	2375,47	2375
190	0,16	1,5	2646,74	2647
200	0,16	1,5	2932,68	2933
210	0,16	1,5	3233,28	3233
220	0,16	1,5	3548,54	3549
230	0,16	1,5	3878,47	3878
240	0,16	1,5	4223,05	4223
250	0,16	1,5	4582,31	4582
260	0,16	1,5	4956,22	4956
270	0,16	1,5	5344,80	5345
280	0,16	1,5	5748,05	5748
290	0,16	1,5	6165,96	6166
300	0,16	1,5	6598,52	6599
310	0,16	1,5	7045,76	7046
320	0,16	1,5	7507,65	7508
330	0,16	1,5	7984,21	7984
340	0,16	1,5	8475,44	8475
350	0,16	1,5	8981,32	8981
360	0,16	1,5	9501,87	9502
370	0,16	1,5	10037,09	10037
380	0,16	1,5	10586,96	10587
390	0,16	1,5	11151,51	11152
400	0,16	1,5	11730,71	11731

EK-4 Demiryolu Dever Sınır Değerlerine Göre Minimum Kurp Yarıçapları ($u_{\max}=0,18$ m).

v (Km/h)	$u_{\max}$ (m)	b (m)	Hesaplanmış $R_{\min}$ (m)	Yuvarlanmış $R_{\min}$ (m)
20	0,18	1,5	26,03	26
30	0,18	1,5	58,56	59
40	0,18	1,5	104,11	104
50	0,18	1,5	162,68	163
60	0,18	1,5	234,26	234
70	0,18	1,5	318,85	319
80	0,18	1,5	416,45	416
90	0,18	1,5	527,07	527
100	0,18	1,5	650,71	651
110	0,18	1,5	787,36	787
120	0,18	1,5	937,02	937
130	0,18	1,5	1099,70	1100
140	0,18	1,5	1275,39	1275
150	0,18	1,5	1464,10	1464
160	0,18	1,5	1665,82	1666
170	0,18	1,5	1880,55	1881
180	0,18	1,5	2108,30	2108
190	0,18	1,5	2349,06	2349
200	0,18	1,5	2602,84	2603
210	0,18	1,5	2869,63	2870
220	0,18	1,5	3149,43	3149
230	0,18	1,5	3442,25	3442
240	0,18	1,5	3748,09	3748
250	0,18	1,5	4066,93	4067
260	0,18	1,5	4398,79	4399
270	0,18	1,5	4743,67	4744
280	0,18	1,5	5101,56	5102
290	0,18	1,5	5472,46	5472
300	0,18	1,5	5856,38	5856
310	0,18	1,5	6253,32	6253
320	0,18	1,5	6663,26	6663
330	0,18	1,5	7086,22	7086
340	0,18	1,5	7522,20	7522
350	0,18	1,5	7971,19	7971
360	0,18	1,5	8433,19	8433
370	0,18	1,5	8908,21	8908
380	0,18	1,5	9396,24	9396
390	0,18	1,5	9897,29	9897
400	0,18	1,5	10411,35	10411

EK-5 Demiryolu Dever Sınır Değerlerine Göre Minimum Kurp Yarıçapları ($u_{\max}=0,20$ m).

v (Km/h)	$u_{\max}$ (m)	b (m)	Hesaplanmış $R_{\min}$ (m)	Yuvarlanmış $R_{\min}$ (m)
20	0,20	1,5	23,39	23
30	0,20	1,5	52,62	53
40	0,20	1,5	93,54	94
50	0,20	1,5	146,16	146
60	0,20	1,5	210,47	210
70	0,20	1,5	286,47	286
80	0,20	1,5	374,17	374
90	0,20	1,5	473,55	474
100	0,20	1,5	584,63	585
110	0,20	1,5	707,41	707
120	0,20	1,5	841,87	842
130	0,20	1,5	988,03	988
140	0,20	1,5	1145,88	1146
150	0,20	1,5	1315,43	1315
160	0,20	1,5	1496,66	1497
170	0,20	1,5	1689,59	1690
180	0,20	1,5	1894,21	1894
190	0,20	1,5	2110,53	2111
200	0,20	1,5	2338,54	2339
210	0,20	1,5	2578,24	2578
220	0,20	1,5	2829,63	2830
230	0,20	1,5	3092,71	3093
240	0,20	1,5	3367,49	3367
250	0,20	1,5	3653,96	3654
260	0,20	1,5	3952,13	3952
270	0,20	1,5	4261,98	4262
280	0,20	1,5	4583,53	4584
290	0,20	1,5	4916,77	4917
300	0,20	1,5	5261,70	5262
310	0,20	1,5	5618,33	5618
320	0,20	1,5	5986,65	5987
330	0,20	1,5	6366,66	6367
340	0,20	1,5	6758,37	6758
350	0,20	1,5	7161,76	7162
360	0,20	1,5	7576,85	7577
370	0,20	1,5	8003,64	8004
380	0,20	1,5	8442,11	8442
390	0,20	1,5	8892,28	8892
400	0,20	1,5	9354,14	9354

EK-6 Demiryolu Yanal İvme Sınır Değerlerine Göre Minimum Kurp Yarıçapları
 $(a_Y = 0,65 \text{ m/s}^2)$, $(u_{\max} = 0,18 \text{ m})$.

v (Km/h)	$u_{\max}$ (m)	a_Y (m/s²)	b (m)	Hesaplanmış $R_{\min}$ (m)	Yuvarlanmış $R_{\min}$ (m)
30	0,18	0,65	1,5	37,73	38
40	0,18	0,65	1,5	67,08	67
50	0,18	0,65	1,5	104,81	105
60	0,18	0,65	1,5	150,93	151
70	0,18	0,65	1,5	205,43	205
80	0,18	0,65	1,5	268,31	268
90	0,18	0,65	1,5	339,58	340
100	0,18	0,65	1,5	419,24	419
110	0,18	0,65	1,5	507,28	507
120	0,18	0,65	1,5	603,70	604
130	0,18	0,65	1,5	708,51	709
140	0,18	0,65	1,5	821,70	822
150	0,18	0,65	1,5	943,28	943
160	0,18	0,65	1,5	1073,25	1073
170	0,18	0,65	1,5	1211,59	1212
180	0,18	0,65	1,5	1358,33	1358
190	0,18	0,65	1,5	1513,44	1513
200	0,18	0,65	1,5	1676,95	1677
210	0,18	0,65	1,5	1848,83	1849
220	0,18	0,65	1,5	2029,11	2029
230	0,18	0,65	1,5	2217,76	2218
240	0,18	0,65	1,5	2414,80	2415
250	0,18	0,65	1,5	2620,23	2620
260	0,18	0,65	1,5	2834,04	2834
270	0,18	0,65	1,5	3056,24	3056
280	0,18	0,65	1,5	3286,82	3287
290	0,18	0,65	1,5	3525,78	3526
300	0,18	0,65	1,5	3773,13	3773
310	0,18	0,65	1,5	4028,86	4029
320	0,18	0,65	1,5	4292,98	4293
330	0,18	0,65	1,5	4565,49	4565
340	0,18	0,65	1,5	4846,38	4846
350	0,18	0,65	1,5	5135,65	5136
360	0,18	0,65	1,5	5433,31	5433
370	0,18	0,65	1,5	5739,35	5739
380	0,18	0,65	1,5	6053,78	6054
390	0,18	0,65	1,5	6376,59	6377
400	0,18	0,65	1,5	6707,79	6708

EK-7 Demiryolu Yanal İvme Sınır Değerlerine Göre Minimum Kurp Yarıçapları
($a_y = 1,22 \text{ m/s}^2$), ($u_{\max} = 0,18 \text{ m}$).

v (Km/h)	$u_{\max}$ (m)	a_y (m/s²)	b (m)	Hesaplanmış $R_{\min}$ (m)	Yuvarlanmış $R_{\min}$ (m)
30	0,18	1,22	1,5	28,76	29
40	0,18	1,22	1,5	51,13	51
50	0,18	1,22	1,5	79,89	80
60	0,18	1,22	1,5	115,04	115
70	0,18	1,22	1,5	156,58	157
80	0,18	1,22	1,5	204,51	205
90	0,18	1,22	1,5	258,84	259
100	0,18	1,22	1,5	319,55	320
110	0,18	1,22	1,5	386,66	387
120	0,18	1,22	1,5	460,15	460
130	0,18	1,22	1,5	540,04	540
140	0,18	1,22	1,5	626,32	626
150	0,18	1,22	1,5	718,99	719
160	0,18	1,22	1,5	818,05	818
170	0,18	1,22	1,5	923,50	924
180	0,18	1,22	1,5	1035,35	1035
190	0,18	1,22	1,5	1153,58	1154
200	0,18	1,22	1,5	1278,21	1278
210	0,18	1,22	1,5	1409,22	1409
220	0,18	1,22	1,5	1546,63	1547
230	0,18	1,22	1,5	1690,43	1690
240	0,18	1,22	1,5	1840,62	1841
250	0,18	1,22	1,5	1997,20	1997
260	0,18	1,22	1,5	2160,17	2160
270	0,18	1,22	1,5	2329,53	2330
280	0,18	1,22	1,5	2505,29	2505
290	0,18	1,22	1,5	2687,43	2687
300	0,18	1,22	1,5	2875,97	2876
310	0,18	1,22	1,5	3070,89	3071
320	0,18	1,22	1,5	3272,21	3272
330	0,18	1,22	1,5	3479,92	3480
340	0,18	1,22	1,5	3694,02	3694
350	0,18	1,22	1,5	3914,51	3915
360	0,18	1,22	1,5	4141,39	4141
370	0,18	1,22	1,5	4374,66	4375
380	0,18	1,22	1,5	4614,33	4614
390	0,18	1,22	1,5	4860,38	4860
400	0,18	1,22	1,5	5112,83	5113

EK-8 Karayolu İçin $0,4 \text{ m/s}^3$ Sademe Sınır Değerine Göre Hesaplanan Minimum Kurp Yarıçapları.

v (Km/h)	v (m/s)	$Z_Y \text{ (m/s}^3\text{)}$	$a_T \text{ (m/s}^2\text{)}$	Hesaplanmış $R_{\min} \text{ (m)}$	Yuvarlanmış $R_{\min} \text{ (m)}$
10	2,78	0,4	2	41,67	42
20	5,56	0,4	2	83,33	83
30	8,33	0,4	2	125	125
40	11,11	0,4	2	166,67	167
50	13,89	0,4	2	208,33	208
60	16,67	0,4	2	250	250
70	19,44	0,4	2	291,67	292
80	22,22	0,4	2	333,33	333
90	25	0,4	2	375	375
100	27,78	0,4	2	416,67	417
110	30,56	0,4	2	458,33	458
120	33,33	0,4	2	500	500
130	36,11	0,4	2	541,67	542

EK-9 Karayolu İçin 0,5 m/s³ Sademe Sınır Değerine Göre Hesaplanan Minimum Kurp Yarıçapları.

v (Km/h)	v (m/s)	Z_Y (m/s³)	a_T (m/s²)	Hesaplanmış R_{min} (m)	Yuvarlanmış R_{min} (m)
10	2,78	0,5	2	33,33	33
20	5,56	0,5	2	66, 67	67
30	8,33	0,5	2	100	100
40	11,11	0,5	2	133,33	133
50	13,89	0,5	2	166, 67	167
60	16,67	0,5	2	200	200
70	19,44	0,5	2	233,33	233
80	22,22	0,5	2	266,67	267
90	25	0,5	2	300	300
100	27,78	0,5	2	333,33	333
110	30,56	0,5	2	366, 67	367
120	33,33	0,5	2	400	400
130	36,11	0,5	2	433,33	433

EK-10 Karayolu İçin $0,6 \text{ m/s}^3$ Sademe Sınır Değerine Göre Hesaplanan Minimum Kurp Yarıçapları.

$v \text{ (Km/h)}$	$v \text{ (m/s)}$	$Z_Y \text{ (m/s}^3\text{)}$	$a_T \text{ (m/s}^2\text{)}$	Hesaplanmış $R_{\min} \text{ (m)}$	Yuvarlanmış $R_{\min} \text{ (m)}$
10	2,78	0,6	2	27, 78	28
20	5,56	0,6	2	55,56	56
30	8,33	0,6	2	83,33	83
40	11,11	0,6	2	111,11	111
50	13,89	0,6	2	138, 89	139
60	16,67	0,6	2	166,67	167
70	19,44	0,6	2	194,44	194
80	22,22	0,6	2	222,22	222
90	25	0,6	2	250	250
100	27,78	0,6	2	277,78	278
110	30,56	0,6	2	305,56	306
120	33,33	0,6	2	333,33	333
130	36,11	0,6	2	361,11	361

EK-11 Karayolu İçin $0,7 \text{ m/s}^3$ Sademe Sınır Değerine Göre Hesaplanan Minimum Kurp Yarıçapları.

$v \text{ (Km/h)}$	$v \text{ (m/s)}$	$Z_Y \text{ (m/s}^3\text{)}$	$a_T \text{ (m/s}^2\text{)}$	Hesaplanmış $R_{\min} \text{ (m)}$	Yuvarlanmış $R_{\min} \text{ (m)}$
10	2,78	0,7	2	23,81	24
20	5,56	0,7	2	47,62	48
30	8,33	0,7	2	71,43	71
40	11,11	0,7	2	95,24	95
50	13,89	0,7	2	119,05	119
60	16,67	0,7	2	142,86	143
70	19,44	0,7	2	166,67	167
80	22,22	0,7	2	190,48	190
90	25	0,7	2	214,29	214
100	27,78	0,7	2	238,10	238
110	30,56	0,7	2	261,91	262
120	33,33	0,7	2	285,71	286
130	36,11	0,7	2	309,52	310

EK-12 Karayolu İçin 0,8 m/s³ Sademe Sınır Değerine Göre Hesaplanan Minimum Kurp Yarıçapları.

v (Km/h)	v (m/s)	Z_Y (m/s³)	a_T (m/s²)	Hesaplanmış R_{min} (m)	Yuvarlanmış R_{min} (m)
10	2,78	0,8	2	20,83	21
20	5,56	0,8	2	41, 67	42
30	8,33	0,8	2	62,50	62
40	11,11	0,8	2	83,33	83
50	13,89	0,8	2	104,17	104
60	16,67	0,8	2	125	125
70	19,44	0,8	2	145,83	146
80	22,22	0,8	2	166,67	167
90	25	0,8	2	187,50	188
100	27,78	0,8	2	208,33	208
110	30,56	0,8	2	229,17	229
120	33,33	0,8	2	250	250
130	36,11	0,8	2	270,83	271

EK-13 Karayolu İçin 0,9 m/s³ Sademe Sınır Değerine Göre Hesaplanan Minimum Kurp Yarıçapları.

v (Km/h)	v (m/s)	Z_Y (m/s³)	a_T (m/s²)	Hesaplanmış R_{min} (m)	Yuvarlanmış R_{min} (m)
10	2,78	0,9	2	18,52	19
20	5,56	0,9	2	37,04	37
30	8,33	0,9	2	55,56	56
40	11,11	0,9	2	74,07	74
50	13,89	0,9	2	92,59	93
60	16,67	0,9	2	111,11	111
70	19,44	0,9	2	129,63	130
80	22,22	0,9	2	148,15	148
90	25	0,9	2	166,67	167
100	27,78	0,9	2	185,19	185
110	30,56	0,9	2	203,70	204
120	33,33	0,9	2	222,22	222
130	36,11	0,9	2	240,74	241

EK-14 Karayolu İçin 1 m/s³ Sademe Sınır Değerine Göre Hesaplanan Minimum Kurp Yarıçapları.

v (Km/h)	v (m/s)	Z_Y (m/s³)	a_T (m/s²)	Hesaplanmış R_{min} (m)	Yuvarlanmış R_{min} (m)
10	2,78	1	2	16,67	17
20	5,56	1	2	33,33	33
30	8,33	1	2	50	50
40	11,11	1	2	66,67	67
50	13,89	1	2	83,33	83
60	16,67	1	2	100	100
70	19,44	1	2	116,67	117
80	22,22	1	2	133,33	133
90	25	1	2	150	150
100	27,78	1	2	166,67	167
110	30,56	1	2	183,33	183
120	33,33	1	2	200	200
130	36,11	1	2	216,67	217

EK-15 Demiryolu İçin 0,3 m/s³ Sademe Sınır Değerine Göre Hesaplanan Minimum Kurp Yarıçapları.

v (Km/h)	v (m/s)	Z_Y (m/s³)	u_{max} (m)	b (m)	a_T (m/s²)	Hesaplanmış R_{min} (m)	Yuvarlanmış R_{min} (m)
10	2,78	0,3	0,15	1,5	2	55,28	55
20	5,56	0,3	0,15	1,5	2	110,55	111
30	8,33	0,3	0,15	1,5	2	165,83	166
40	11,11	0,3	0,15	1,5	2	221,11	221
50	13,89	0,3	0,15	1,5	2	276,39	276
60	16,67	0,3	0,15	1,5	2	331,66	332
70	19,44	0,3	0,15	1,5	2	386,94	387
80	22,22	0,3	0,15	1,5	2	442,22	442
90	25	0,3	0,15	1,5	2	497,49	497
100	27,78	0,3	0,15	1,5	2	552,77	553
110	30,56	0,3	0,15	1,5	2	608,05	608
120	33,33	0,3	0,15	1,5	2	663,33	663
130	36,11	0,3	0,15	1,5	2	718,60	719
140	38,89	0,3	0,15	1,5	2	773,88	774
150	41,67	0,3	0,15	1,5	2	829,16	829
160	44,44	0,3	0,15	1,5	2	884,43	884
180	50	0,3	0,15	1,5	2	994,99	995
200	55,56	0,3	0,15	1,5	2	1105,54	1106
220	61,11	0,3	0,15	1,5	2	1216,10	1216
240	66,67	0,3	0,15	1,5	2	1326,65	1327
250	69,44	0,3	0,15	1,5	2	1381,93	1382
260	72,22	0,3	0,15	1,5	2	1437,20	1437
280	77,78	0,3	0,15	1,5	2	1547,76	1548
300	83,33	0,3	0,15	1,5	2	1658,31	1658
320	88,89	0,3	0,15	1,5	2	1768,87	1769
340	94,44	0,3	0,15	1,5	2	1879,42	1879
350	97,22	0,3	0,15	1,5	2	1934,70	1935

EK-16 Demiryolu İçin 0,4 m/s³ Sademe Sınır Değerine Göre Hesaplanan Minimum Kurp Yarıçapları.

v (Km/h)	v (m/s)	Z_Y (m/s³)	u_{max} (m)	b (m)	a_T (m/s²)	Hesaplanmış R_{min} (m)	Yuvarlanmış R_{min} (m)
10	2,78	0,4	0,15	1,5	2	41,46	41
20	5,56	0,4	0,15	1,5	2	82,92	83
30	8,33	0,4	0,15	1,5	2	124,37	124
40	11,11	0,4	0,15	1,5	2	165,83	166
50	13,89	0,4	0,15	1,5	2	207,29	207
60	16,67	0,4	0,15	1,5	2	248,75	249
70	19,44	0,4	0,15	1,5	2	290,21	290
80	22,22	0,4	0,15	1,5	2	331,66	332
90	25	0,4	0,15	1,5	2	373,12	373
100	27,78	0,4	0,15	1,5	2	414,58	415
110	30,56	0,4	0,15	1,5	2	456,04	456
120	33,33	0,4	0,15	1,5	2	497,49	497
130	36,11	0,4	0,15	1,5	2	538,95	539
140	38,89	0,4	0,15	1,5	2	580,41	580
150	41,67	0,4	0,15	1,5	2	621,87	622
160	44,44	0,4	0,15	1,5	2	663,33	663
180	50	0,4	0,15	1,5	2	746,24	746
200	55,56	0,4	0,15	1,5	2	829,16	829
220	61,11	0,4	0,15	1,5	2	912,07	912
240	66,67	0,4	0,15	1,5	2	994,99	995
250	69,44	0,4	0,15	1,5	2	1036,45	1036
260	72,22	0,4	0,15	1,5	2	1077,90	1078
280	77,78	0,4	0,15	1,5	2	1160,82	1161
300	83,33	0,4	0,15	1,5	2	1243,73	1244
320	88,89	0,4	0,15	1,5	2	1326,65	1327
340	94,44	0,4	0,15	1,5	2	1409,57	1410
350	97,22	0,4	0,15	1,5	2	1451,02	1451

EK-17 Demiryolu İçin $0,5 \text{ m/s}^3$ Sademe Sınır Değerine Göre Hesaplanan Minimum Kurp Yarıçapları.

v (Km/h)	v (m/s)	Z_Y (m/s^3)	$u_{\max}$ (m)	b (m)	a_T (m/s^2)	Hesaplanmış $R_{\min}$ (m)	Yuvarlanmış $R_{\min}$ (m)
10	2,78	0,5	0,15	1,5	2	33,17	33
20	5,56	0,5	0,15	1,5	2	66,33	66
30	8,33	0,5	0,15	1,5	2	99,50	99
40	11,11	0,5	0,15	1,5	2	132,67	133
50	13,89	0,5	0,15	1,5	2	165,83	166
60	16,67	0,5	0,15	1,5	2	199	199
70	19,44	0,5	0,15	1,5	2	232,16	232
80	22,22	0,5	0,15	1,5	2	265,33	265
90	25	0,5	0,15	1,5	2	298,50	298
100	27,78	0,5	0,15	1,5	2	331,66	332
110	30,56	0,5	0,15	1,5	2	364,83	365
120	33,33	0,5	0,15	1,5	2	398	398
130	36,11	0,5	0,15	1,5	2	431,16	431
140	38,89	0,5	0,15	1,5	2	464,33	464
150	41,67	0,5	0,15	1,5	2	497,49	497
160	44,44	0,5	0,15	1,5	2	530,66	531
180	50	0,5	0,15	1,5	2	596,99	597
200	55,56	0,5	0,15	1,5	2	663,33	663
220	61,11	0,5	0,15	1,5	2	729,66	730
240	66,67	0,5	0,15	1,5	2	795,99	796
250	69,44	0,5	0,15	1,5	2	829,16	829
260	72,22	0,5	0,15	1,5	2	862,32	862
280	77,78	0,5	0,15	1,5	2	928,66	929
300	83,33	0,5	0,15	1,5	2	994,99	995
320	88,89	0,5	0,15	1,5	2	1061,32	1061
340	94,44	0,5	0,15	1,5	2	1127,65	1128
350	97,22	0,5	0,15	1,5	2	1160,82	1161

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ahmet Sami KILINÇ
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara, 1986
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : zahmet@outlook.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Anamur Anadolu Lisesi (2000-2004)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri
Mühendisliği Bölümü (2005-2009)
Anadolu Üniversitesi, İşletme Bölümü (2011-2016)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı (2009-2017)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Araştırma Görevlisi (2010-2012)
İller Bankası A.Ş. Erzurum Bölge Müdürlüğü, Teknik Uzman (2012-Halen)

Yayınları (SCI ve diğer)

KILINÇ, A.S., BAYBURA, T., 2012. “Determination of Minimum Horizontal Curve Radius Used in the Design of Transportation Structures Depending on the Limit Value of Comfort Criterion Lateral Jerk”, FIG Working Week, Knowing to Manage the Territory, Protect the Environment the Cultural Heritage, 6-10 May 2012, Rome, Italy.

KILINÇ, A.S., BAYBURA, T. (2012). Konfor Ölçütü Sademe Sınır Değerlerine Göre En Küçük Yatay Kurp Yarıçaplarının Belirlenmesi, 6. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, 3-5 Ekim 2012, Afyonkarahisar.

KILINÇ, A.S., BAYBURA, T. (2014). Erzurum Abdurrahman Gazi Türbesi Yokuşu: Gizemli Yol, 7. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Hitit Üniversitesi, 15-17 Ekim 2014, Çorum.

KILINÇ, A.S. (2015). İnsansız Hava Aracı (İHA) İle Fotogrametrik Hâlihazır Harita Yapımı Yönteminin İller Bankası'nda Uygulanan Yersel ve Fotogrametrik Yöntemlerle Karşılaştırılması, Uzmanlık Tezi, İller Bankası A.Ş. Genel Müdürlüğü, Ankara.

