

9.5. Köprü

9.5.1. Köprü Dizayn ve İnşasının Mevcut Durumu

(1) Deprem Dayanım Kodu

Türkiye’deki en son deprem dayanım kodu Türkiye Cumhuriyeti Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından 1997 yılında yayımlanmış olan “*Afet Bölgelerinde İnşa Edilecek Yapılara İlişkin Yönetmelik (Bölüm III-Deprem Afetini Önleme)*” dır.

Bununla birlikte, bu kod yapılar için bina tipinden ayrı olarak sadece eylemsizlik kuvvetlerini tanımlamaktadır. Köprü yapıları için spesifik bir dizayn kodu yoktur.

Dışarıdan dizayn kodları referans alınmıştır çünkü Tablo 9.5.1 ’de pratikte de görüldüğü gibi köprü dizaynı sırasında gerekli birçok kural vardır.

Tablo 9.5.1 Uygulanan Spesifikasyonlar

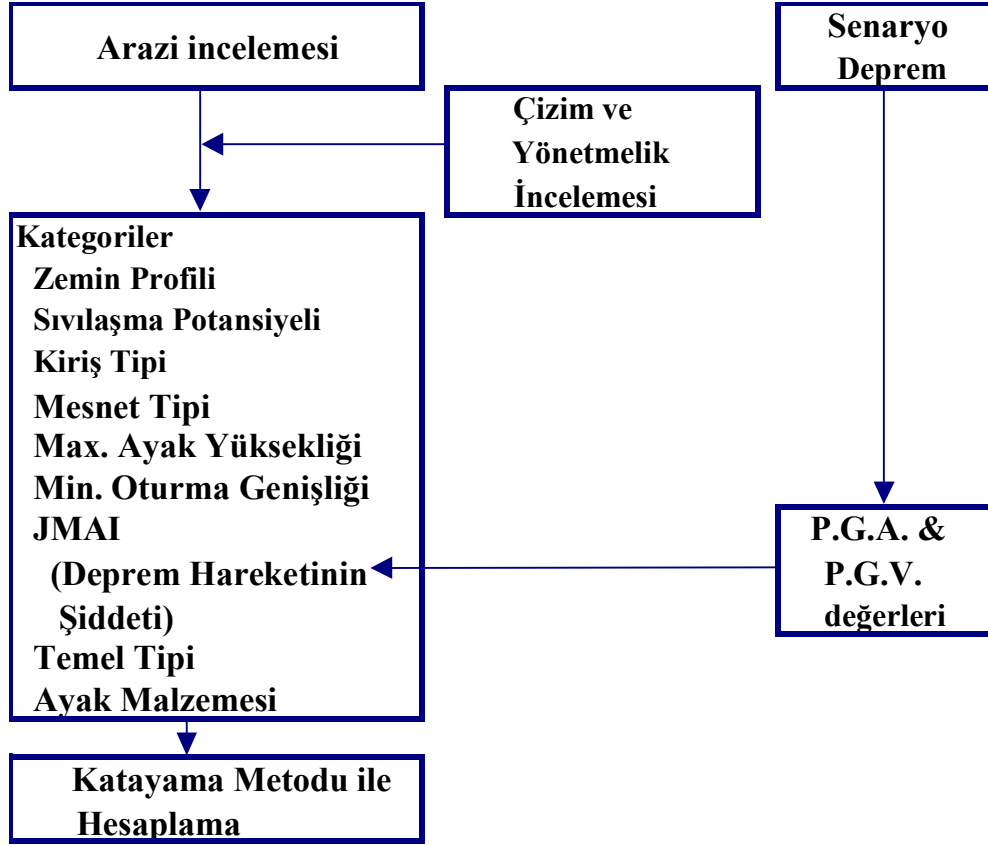
Köprülerin Lokasyonu	Yapım Yılı	Projede Kullanılan Spesifikasyonlar
1.Çevreyolu (E5) üzerindeki köprüler	1973-1987 arasında	Köprüler için Teknik Spesifikasyonlar (Fransız Spesifikasyonları)
2.Çevreyolu (TEM) üzerindeki köprüler	1987’den sonra	AASHTO

(2) Mevcut köprülerin deprem dayanırlığı

Köprü yapısındaki tahribat ulaşım sistemi içerisinde kendi başına bir nokta gibi görünse de sistemin fonksiyonunu sürdürememesi sonucunu doğurabilir. Şehrin yeniden inşa döneminde eğer köprüler güvenli ise ulaşım sisteminin katkısı çok büyüktür. Fakat ulaşım ağı üzerindeki bazı köprüler yıkılırsa bunların onarımı uzun zaman alacaktır. Bu nedenle köprülerin yıkılmasının mümkün olan seviyede önlenmesi gereklidir.

Bu bölümün amacı spesifik köprüleri işaret ederek bunların hasar görerek ulaşım ağını olumsuz yönde etkilemeleri durumunu minimize etme gerekliliğini ortaya koymaktır. Bu “First screening (İlk Gözlem)” olarak adlandırılır.

Bunlar dikkate alındığında köprü kirişinin düşmesi ulaşım sistemini en ciddi şekilde etkileyecek olan durumdur. Bundan dolayı, Çalışmada Kubo/Katayama tarafından önerilmiş olan metodoloji (bundan sonra Katayama Metodu olarak anılacaktır) seçilmiştir, çünkü bu metod kiriş düşmesi açısından köprülerin değerlendirilmesinde çok etkindir. Bu değerlendirme sistemi Şekil 9.5.1 'de gösterilmiştir.



Şekil 9.5.1 Metodolojinin Şematik Çizimi

Şekil 9.5.1 'de görüldüğü gibi, köprü arazide incelenerek çok azı hariç neredeyse tüm gerekli veri elde edilebilir. Temel tipi genel çizimden tanımlanabilir, deprem şiddeti ve sıvılaşma potansiyeli diğer bir yolla tartışılmalıdır.

Katayama Methodunda kirişin düşme olasılığını etkileyebilecek 10 madde üzerinde durulmuştur. Herbir madde birkaç kategoriden oluşur ve bunlar kompleks hesaplamalar gerektirmeyecek şekilde seçilebilir. Maddeler, kategoriler ve kategori skorları Tablo 9.5.2 'de gösterilmiştir. Kategori skoru herbir kategoriye bir ağırlık faktörü olarak verilir. İstanbul'daki köprüler dikkate alınarak modifiye edilen kategoria skoru bu tabloda gösterilmiştir.

Tablo 9.5.2 Maddeler, Kategoriler ve Kategori Skorları

Madde	Kategori		Kategori Skoru
Zemin Tipi	Sert		0.5
	Orta		1.0
	Yumuşak		1.5
	Çok Yumuşak		1.8
Sıvılaşma Olasılığı	Yok		1.0
	Orta		1.5
	Var		2.0
Kiriş Tipi	Tek açıklık	Ark yada Rijit Çerçeve	1.0
		Basit Kiriş	3.0
	2 yada fazla açıklık	Basit Kiriş	5.25
		Tek Sürekli Kiriş	3.5
		Birden fazla Sürekli Kiriş	4.2
		Sürekli ve Basit Kiriş Kombinasyonu	6.3
Mesnet Tipi	Özel bir aletle (kirişin düşmesini önleyen)		0.6
	Mesnet (açık dizayn konsepti ile)		1.0
	Eksenel yönde hareket edebilen iki mesnet bulunması		1.15
Max. Ayak Yüksekliği	5 m'den az		1.0
	5 - 10 m arası		1.35
	10m'den fazla		1.7
Min.Oturma Genişliği	Geniş		0.8
	Dar		1.2
JMA sismik şiddet ölçeği	5 (4.5 - 5.0)		1.0
	5.5 (5.0 - 5.5)		1.7
	6.0 (5.5 - 6.0)		2.4
	6.5 (6.0 - 6.5)		3.0
	7.0 (6.5 ve üstü)		3.5
Temel Tipi	Ayak		1.0
	Kazık		0.9
Ayak Malzemesi	Yığma		1.4
	Betonarme		1.0

Hesaplama sonucu verinin Denk. (9.2.1) ‘e girilmesi sonucu belirlenebilir;

$$y_i = \prod_{j=1}^N \prod_{k=1}^{M_j} X_{jk}^{\delta_j(jk)} \quad (\text{Denk. 9.2.1})$$

y_i : i nolu köprünün hasar derecesi tahmini

N : tüm maddelerin numarası

M_j : j nolu maddenin kategori numarası

$\delta_i(jk)$: yardımcı değişken

$\delta_i(jk)=1$: i nolu köprünün karakteristiği o maddedeki k kategorisine karşılık geliyorsa

$\delta_i(jk)=0$: diğer durumda

X_{jk} : j nolu maddenin k nolu kategorisi için kategori skoru

$\prod_{j=1}^N \cdot$: j - N değerleri arasında çarpma işareti

Eğer pratik açıklama gerekli ise, yukarıda bahsedilen prosedür şu anlama gelmektedir;

“Herbir madde için belirli kategori değeri seç, ve skorları birbirleriyle çarp”.

Burada belirtilen sismik şiddet JMA “Japon Sismolojik Gözlemevi” tarafından tanımlanmış olan ölçektir, MMI’e karşılık gelmemektedir. JMA şiddeti Katayama Metodu temelde bu ölçeğine dayanmakta olduğundan seçilmiştir.

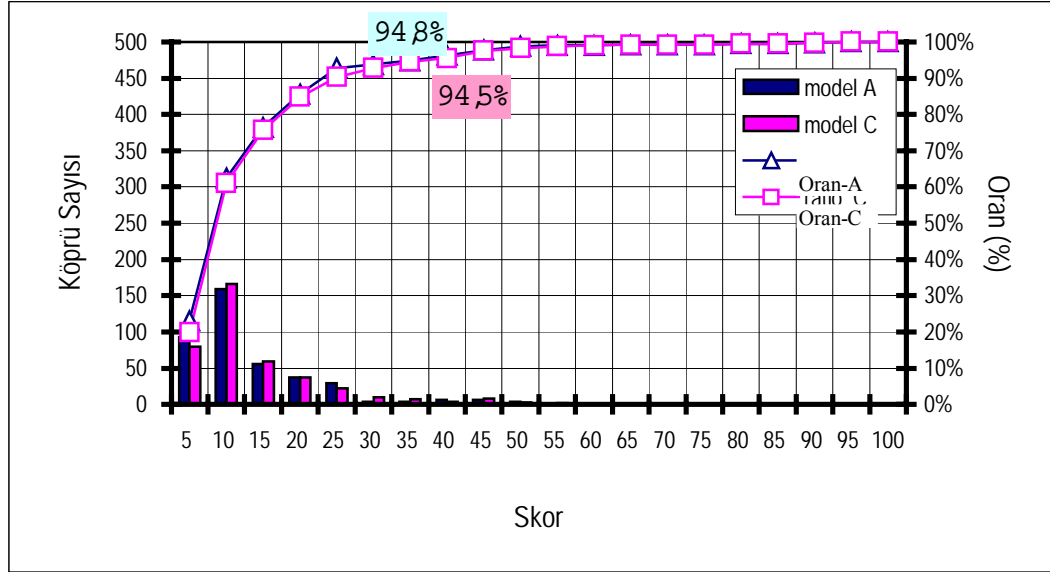
3 depremde (1923 Kanto, 1948 Fukui, 1964 Niigata) gözlemlenmiş olan 30 örnek köprü hasarını temel alan analizler aşağıdaki kritik değerlerle sonuçlanmıştır.

- Düşen ve düşmeyen örnek köprü kırımları 30 ~ 35 skor değerlerindeki noktalarda ayrılmaktadırlar.
- Düşen tüm örnekler ve düşmenin eşiğinde olan örnekler 26 skor değerindeki noktada ayrılmaktadır.

Bundan dolayı, bu Çalışmadaki *hasar derecesi tahmini* sınır değerleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir;

	Hasar Derecesi Sınıfı	Hasar Derecesi Tahminleri Sınır Değerleri
(A)	Yüksek düşme olasılığı	30 ve 30’dan yüksek
(B)	Orta Olasılık	26 –30 arası
(C)	Problem yok	26’dan az

Çalışmada 480 köprü incelenmiştir. *Hasar derecesi tahminleri dağılımı* Şekil 9.5.2’de gösterilmiştir. 21 örnek *Orta Olasılık* ve 4 örnek *Yüksek Düşme Olasılığı* ‘na sahip olarak tanımlanmıştır. Birçok örnek 10 hasar derecesi civarında toplanmıştır.



Şekil 9.5.2 Hasar derecesi tahminleri dağılımı

Sınıf (A) yada (B) olarak değerlendirilmiş olan köprülerin listesi Tablo 9.5.3 ‘de gösterilmiştir.

Sınıf (A) yada (B)’ye dahil olmayan iki örnek Tablo 9.5.4 ‘de gösterilmiştir. Bu iki köprü aşağıdaki durum altındadır;

- Arazinin En Yüksek Zemin İvmesi 300gal’dan fazladır.
- Ayak yüksekliği 10 m’den fazladır.

Tablo 9.5.3 ve Tablo 9.5.4. ‘te gösterilen köprüler bir sonraki detaylı incelemeye tabi tutulmalıdır ve kabul edilebilir deprem dayanırlığı güçlendirmesi gereklidir.

BRIDGE No.	SOURCE	Ground type			Probability of Liquefaction		Girder Type				Type of Bearing		Max. Height of Abut./Pier		Min. Bridge Seat Width	Foundation Type	Material of Abut./Pier	REMARKS	JMA seismic	Predictors of damage		Class of damage				
		SH	Medium	Soft	Very Soft	Fear	High	1 Span	2 or more span	with Specific Device	Bearing (with clear design concept)	cost low bearing that can move w/out detection	less than 5 m	5 to 10 m						more than 10m	Wide		Narrow	Masonry	Reinforced Concrete	Model A
32	17_region	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	6.0	6.1	93.7	A	A	Model C	Model A
188	17_region	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	6.0	6.1	89.8	A	A	Model C	Model A
89	17_region	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	6.0	6.0	79.2	A	A	Model C	Model A
75	TC00	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	6.1	6.1	62.0	A	A	Model C	Model A
57	17_region	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	5.9	6.0	47.9	A	A	Model A	Model C
AK5	IBB-İHA,cevel Dpt	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	6.0	6.0	52.8	A	A	Model A	Model C
MT110	JICA	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	5.5	5.6	47.5	A	A	Model A	Model C
MT112	JICA	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	5.5	5.6	47.5	A	A	Model A	Model C
MT94	JICA	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	5.8	5.8	47.5	A	A	Model A	Model C
MT66	JICA	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	5.9	6.0	35.2	A	A	Model A	Model C
MT67	JICA	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	5.9	6.0	35.2	A	A	Model A	Model C
MT68	JICA	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	5.9	6.0	35.2	A	A	Model A	Model C
T4	TC00	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	5.8	5.8	41.3	A	A	Model A	Model C
58	17_region	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	5.9	6.0	31.9	A	A	Model A	Model C
T28A	TC00	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	5.8	5.9	35.2	A	A	Model A	Model C
T28B	TC00	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	5.8	5.9	35.2	A	A	Model A	Model C
190	17_region	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	5.5	5.6	31.7	A	A	Model A	Model C
T33	TC00	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	5.5	5.5	30.6	A	A	Model A	Model C
AK3	IBB-İHA,cevel Dpt	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	5.9	6.0	24.1	C	A	Model A	Model C
AK4	IBB-İHA,cevel Dpt	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	5.9	6.0	24.1	C	A	Model A	Model C
1	17_region	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	5.5	5.7	26.6	B	B	Model A	Model C
56	17_region	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	5.5	5.6	26.6	B	B	Model A	Model C
UAS17	IBB METRO	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	5.9	6.0	21.1	C	B	Model A	Model C
T30	TC00	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	6.0	6.1	26.2	B	B	Model A	Model C

Tablo 9.5.3 Sınıf (A) yada (B) olarak değerlendirilen köprüler

Tablo 9.5.4 Köprüler (Arazinin En Yüksek Zemin İvmesi 300gal'dan fazla, Ayak yüksekliği 10 m'den fazla)

Köprü No.	Kaynak	JMA sismik şiddeti ölçeği		PGA (gal)		Hasar dereceleri predüktörleri		Hasar derecesi sınıfı	
		Model	Model	Model A	Model C	Model	Model	Model	Model
M 1-3-A	IBB Yol Bakım	5,3	5,4	276,8	307,6	7,0	7,0	C	C
YIM 5	IBB-inşaat	5,7	5,7	342,4	379,9	9,9	9,9	C	C

Yukarıda bahsedildiği gibi, Katayama metodu köprülerin niteliksel ve niceliksel karakteristiklerini yansıtabilecek şekilde hasargörebilirliği hesaplayabilmektedir. Örneğin “kiriş tipi konfigürasyonu”, “mesnet”, “temel”, ve “köprü ayağı malzemesi” niteliksel karakteristikleri temsil etmektedir.

Başta Kobe Depremi olmak üzere birçok deprem afetiyle ilgili raporda “kiriş tipi konfigürasyonu”nun kirişin düşme başlangıç noktasının bulunmasında etkili olduğu rapor edilmiştir.

Yukarıda belirtildiği gibi Katayama metodunun ana hedefi köprü kirişinin düşme olasılığını değerlendirmektir. Kirişin bağlantı noktası hasarı ve ayakta çatlama gibi diğer tipteki hasarlar başka metodlar kullanılarak incelenmelidir.

Bununla birlikte, bu metod bir “ilk inceleme (first screening)” olarak kullanılarak yüksek riske sahip köprülerin de işaret edilmesi gereklidir.

Bu metodun istatistiksel analizi faylanmanın yol açtığı toprak kayması yada faylanma durumu altındaki zemin yüzeyi deplasmanı sonucu oluşan hasar örneklerini içermemektedir. Eğer faylanma olasılığına ilişkin belirgin ipuçları varsa diğer bir inceleme yapılması gereklidir..

9.5.2. Tartışmalı noktanın belirtilmesi

“Yüksek düşme olasılıklı: 30 puandan yüksek” olarak hesaplanan köprü sayısı 20 dir. Bununla birlikte her bir köprü için detaylı açıklama yapılması gereklidir, aynı zamanda İstanbul’un köprülerinin özel durumları da açıklanmalıdır. Bundan dolayı aşağıda 5 örnek içinde bu gerekli açıklamalar tanımlanmıştır.

(1) No.52 (Skor; 93.7)

Bu köprünün hesaplama sonucu 93.7 ile en yüksek skoru göstermektedir, fakat bu örnekle ilgili olarak bazı açıklamalar yapmak gereklidir. Bu en yüksek skoru meydana gelmesinin nedeni bu köprüde basit kiriş ile sürekli kirişin bir kombinasyonunun kullanılmış olması ve ayak yüksekliğinin fazla olmasıdır. Fazla kütleyle sahip olan sürekli kiriş ile daha hafif kütleyle sahip basit kirişin birbirlerine çarpma olasılığı mevcuttur. Böylece sürekli kirişin basit kiriş üzerinde büyük etki oluşturması beklenebilir. Bundan dolayı bu temasın dikkatli bir şekilde incelenmesi gereklidir. Daha sonra üzerinde durulacak olan düşme önleyici alet bu durum için etkin olabilir.

(2) No.188 (Skor; 89.8)



Bu köprünün hesaplama sonucu skoru 89.8'dir. bu yüksek skorun nedeni köprüde basit kirişlerin kullanılmış olması ve ayak yüksekliğinin göreceli şekilde yüksek olmasıdır. Her bir kiriş temasıyla deplasmanların artması ve sonucunda da kiriş düşmesi meydana gelebilir.

(3) No.89 (Skor; 79.2)



Bu köprünün hesaplama sonucu skoru 79.2'dir. Bu yüksek skorun nedeni köprüde basit kirişlerin kullanılmış olması ve ayak yüksekliğinin göreceli şekilde yüksek olmasıdır.

(4) T5 (Skor; 62.0)

Bu köprünün hesaplama sonucu skoru 62.0'dır. Bu yüksek skorun nedeni köprüde basit kirişlerin kullanılmış olmasıdır. Ek olarak ayak üzerindeki iki mesnet kirişin yüz yüze görelî deplasmanına yol açar. Bu tip mesnet durumu çok büyük görelî deplasmana neden olabilir, çünkü komşu ayakta iki mesnet bulunabilir ve bu da kirişin yüz yüze görelî deplasmanına müsaade etmeyebilir. Köprünün bu iki çeşit yapı bölümü çok farklı doğal periyoda sahiptir ve bundan dolayı köprü kirişinde büyük görelî deplasman meydana gelebilir.

Bununla birlikte alt taraftaki komşu yapılar, zemine bağlı olan ve bundan dolayı doğal periyodu o kadar uzun olmayan ayaklardır. Katayama metodunda ciddi olarak değerlendirilen bu tip istisnalar birkaç tanedir fakat bu çeşit mesnet tipi durumu uyarılması gereken durumlardır.

(5) No.57 (Skor; 59.9)

Bu köprünün hesaplama sonucu skoru 59.9'dur. Bu yüksek skorun nedeni köprüde basit kirişlerin kullanılmış olması ve ayak yüksekliğinin göreceli şekilde yüksek olmasıdır. Her bir kiriş temasıyla deplasmanların artması ve sonucunda da kiriş düşmesi meydana gelebilir.

Bununla birlikte kiriş ucu ile ayak yüzü arasındaki boşluk göreceli olarak genişletir, ve bundan dolayı bu bölümde temas olmayabilir.

Bu Çalışmada her bir kiriş ile köprü ayağı arasındaki boşluk tanımlanamamıştır. Eğer boşluk kabul edilebilir şekilde muhafaza edilmiş ise temas /çarpışma engellenebilir. Minimum oturma genişliği dikkate alınır, genişlik kabul edilebilir şekilde korunduğunda kirişin düşme problemi ortadan kaldırılabilir.

Sonuç olarak bu köprü için komşu kirişleri birbirine bağlayan bazı düşme önleyici aletlerin tartışılması gereklidir.

9.5.3. Deprem Dayanırılığını Arttırma Konusunda Öneriler

(1) Temel Nokta

Köprü ve bina dizaynı arasında temel prensipler aynı olsa da bazı pratik farklılıklar olabilir. Farklılığın nedenleri şunlardır;

- 1) Binaların çoğunun şahıslara ait olmasına karşın köprüler kamu malıdır.
- 2) Kurtarma operasyonlarında ve şehrin yeniden inşasında köprülerden çok yüksek derecede fonksiyonerlik beklenir.
- 3) Köprülerin deprem dayanırılığı dizayn ile garanti altına alınmış olmalıdır.

Yukarıdaki noktaları dikkate alarak bina dizaynından farklı olarak köprüler için ayrı tedbirlere ihtiyaç vardır.

Hedeflenen deprem şiddeti dikkate alınacak olursa bina dizaynı için olan ile aynıdır..

1999 İzmit depreminde İstanbul'daki deprem şiddeti.

Deprem dayanım dizayn kodunda öngörülmüş olan deprem şiddeti; gelecek 50 yıl içerisinde bu depremden büyük bir deprem olma olasılığı yaklaşık %10'dur.

Senaryo depremin deprem şiddeti; bu İstanbul için beklenebilecek en büyük depremdir.

Yukarıda bahsedilen deprem şiddetlerine karşı ne kadar hasarı kontrol edebileceğimiz de aşağıdaki gibidir;

- a) Yapıyı tam olarak operasyonel tutabilmek,
- b) Yapıyı temel olarak operasyonel tutabilmek.

Kaçınılmaz olarak hasar meydana gelirse derhal onarılmalıdır. (1 yada 2 günde).

Elastik dizayn metodu uygulanabilir.

- c) Köprünün aşırı redüksiyonu önlenerek hasar kontrol edilmelidir.

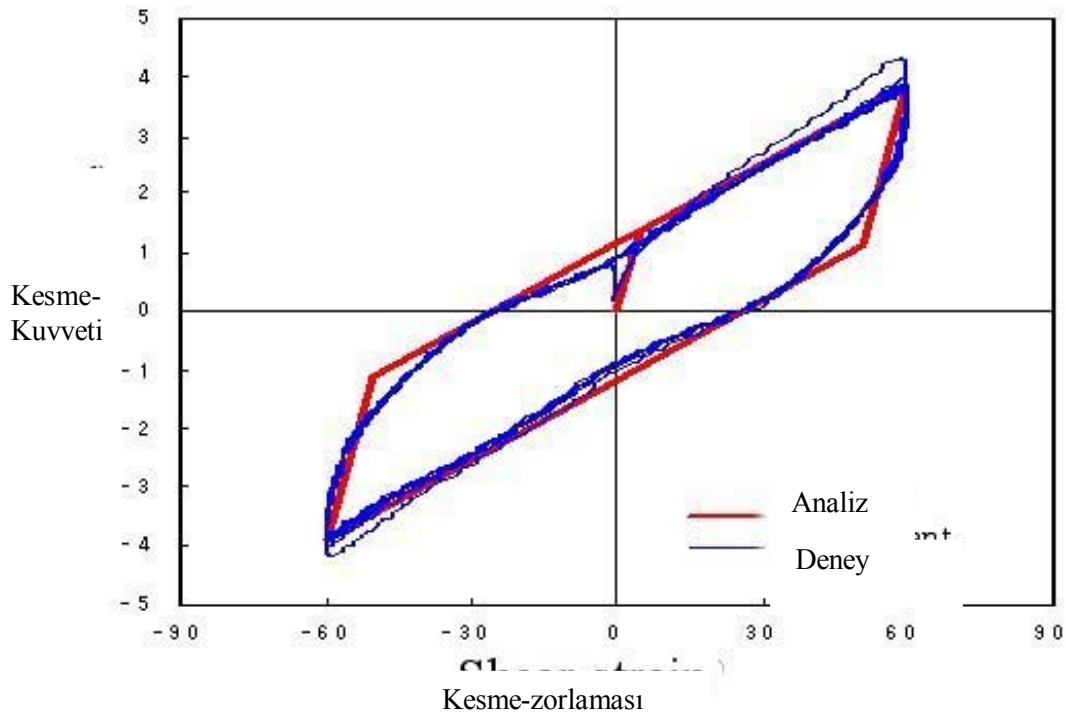
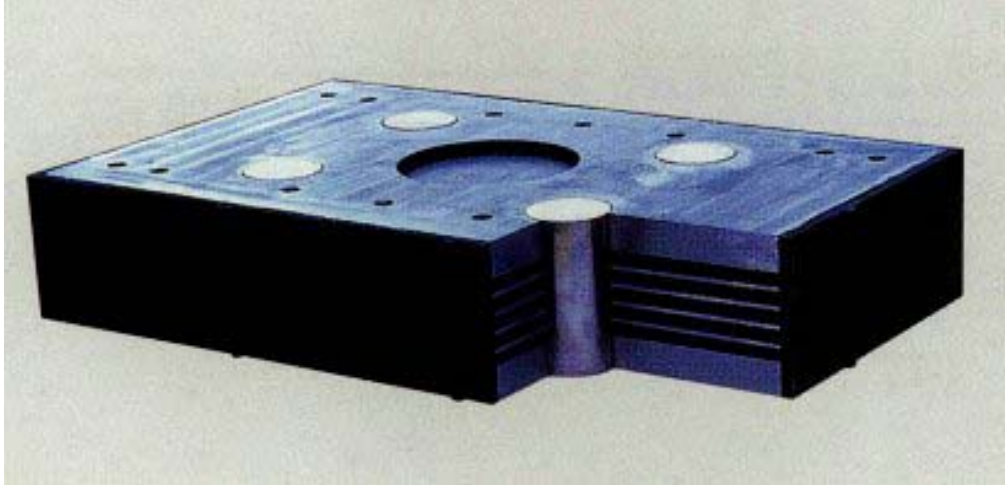
Yapının bazı kısımlarında bir kısım deformasyona müsaade edilse de yeterli duktilite korunmalıdır. Bu tip dizayn metoduna “Kapasite Dizaynı” denir. Bu metotta yapı modeli içine bazı plastik aks noktaları belirlenir, daha sonra tüm yapının stabilitesi ve deplasman tartışılır.

Tablo 9.5.5 ‘de deprem şiddeti ile önlemler arasında bazı kabul edilebilir uygunluklar seçilmiştir.

Tablo 9.5.5 Deprem şiddetine uygun önlem

	Deprem Performans Seviyesi		
	a) Tam Kullanılabilir Durumda	b) Kullanılabilir Durumda Onarım Gerekli	c) Komple Yıkımı Önlemek
1- Sık Deprem Meydana Gelme Durumu	√		
2- Arada Sırada Deprem Meydana Gelme Durumu		Lineer Dizayn	
3- Çok Nadir Deprem Meydana Gelme Durumu			Kapasite Dizaynı

Eğer köprü Tablo 9.5.5 ‘de “□Çok Nadir Deprem” olarak gösterilmiş olan deprem dikkate alınarak dizayn edilirse, yalnızca kuvvetlendirmek etkili değildir. Sismik izolasyon yada dinamik yapı kontrolünün etkin çözüm sağladığı durumlar olabilir. Bununla birlikte aletlerin yüksek fiyatlarından dolayı, maliyet performansını dikkate alan bazı çözümler tartışılmalıdır. Sismik izolasyon aletinin bir örneği olan “Kurşun kavuçok mesnet” Şekil 9.5.3 ‘de gösterilmiştir.



Şekil 9.5.3 Sismik İzolasyon Aletinin bir Örneği “Kurşun kavuçok mesnet”

(2) Dizayn önlemleri

Temel olarak her köprünün çizimleri ve spesifikasyonları ilgili otorite tarafından korunmalıdır ve bunlar köprüler için mevcut deprem dayanım dizayn koduna uygun olmalıdır. Bu amaçla köprüler için uygun dizayn kodu tartışılmalı ve oluşturulmalıdır zira henüz Türkiye’de köprü pratik dizayn kurallarını içeren kod mevcut değildir. Detaylı dizayn eksikliği önceden meydana gelmiş birçok afette rapor edilmiş olduğu gibi ciddi hasarlara neden olabilir.

“Afet Bölgelerinde İnşa Edilecek Yapılara İlişkin Yönetmelik (Bölüm III-Deprem Afeti Önleme)” de tanımlanmış olan deprem dizayn kriteri gerçekçi öneriler sunmaktadır, fakat *Yapısal Davranış Faktörlerini* (R) dikkate alan daha detaylı tartışmalar gereklidir.

Bu faktör, dizayn deprem kriteri non-lineer analiz gerektirecek genişlikte olsa bile, lineer analizin basitleştirilmiş metod olarak uygulanabilmesi için hazırlanmıştır.

Bununla birlikte bu tip basitleştirilmiş metod büyük depremler için yeterli kesinlikte garanti veremeyebilir, çünkü İstanbul için muhtemel deprem hareketi mevcut kodda tanımlanmış olan dizayn depreminden daha büyüktür.

Büyük bir depremde köprülerin önemli rolü dikkate alınarak, en kötü durumlarda bile köprülerin deprem güvenliğini kesinleştirmek için kapasite dizayn metodunun uygulanması tartışılmalıdır. Bu tartışmada dizayn deprem noktası belirlenirken bu Çalışmada senaryo deprem olarak öngörülen deprem hareketi etkin bir öneri olarak değerlendirilebilir.

(3) Acil önlemler

Köprülerin güçlendirilmesiyle ilgili önemli noktalar kesin dizayn metodu ve uygulama yönetimidir. Dizayn metodu ve uygulama yönetiminin geliştirilmesi oldukça uzun zaman gerektirir, çünkü yeterli deneysel tartışma ve işbirliği gereklidir. Diğer taraftan acil olarak alınabilecek bazı etkin tedbirler şunlar olabilir;

a. Köprü envanteri

Köprü envanterinin belli bir formatta hazırlanması gereklidir ve bu envanter deprem dayanırlığı ve günlük bakım konularındaki tartışmalar için gerekli etkin bilgiyi içermelidir.

Bazı eski köprülerle ilgili yeterli bilgi yoksa gerekli araştırma yapılmalıdır.

b. Zor tartışmalar gerektirmeyen mümkün olan etkin önlem durumu

Zor tartışmalar gerektirmeyen ve etkin önlem durumu almak için acil güçlendirme inşası yapılmalıdır. Böyle bir durumda Japonya'daki otoyol spesifikasyonlarında tanımlanmış olan “düşme önleyici sistem” etkin olabilir. “Düşme önleyici sistem” aşağıdaki üç bileşenden oluşur;

- 1) Ayaklar üzerindeki oturma genişliğinin genişletilmesi
- 2) Ayak ile kiriş arasındaki görelî deplasmanın kontrolü
- 3) Komşu iki kiriş arasındaki görelî deplasmanın kontrolü

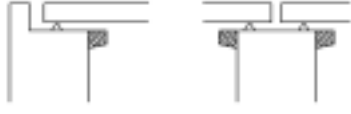
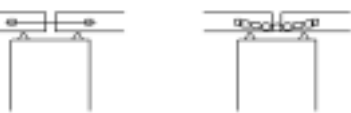


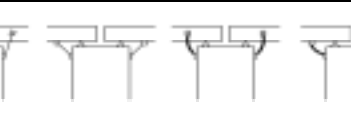
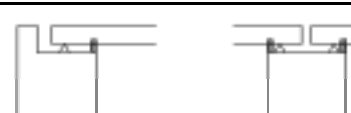
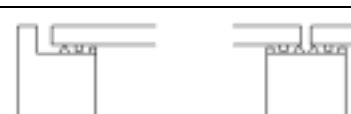
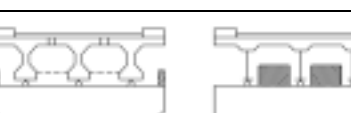
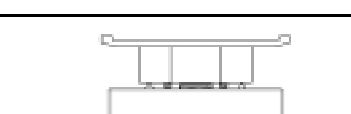
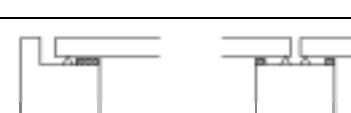

Köprüler için en kötü durum kirişin düşmesidir. Eğer bu önlenirse köprünün acil servis fonksiyonu yeniden sağlanabilir.

Acil servis fonksiyonu, kirişin kenarı deprem hareketi altında aşırı bir deplasmana maruz kalarak hasar görse dahi komşu iki kiriş arasındaki boşluk çelik plaka ile kaplanarak korunabilir.

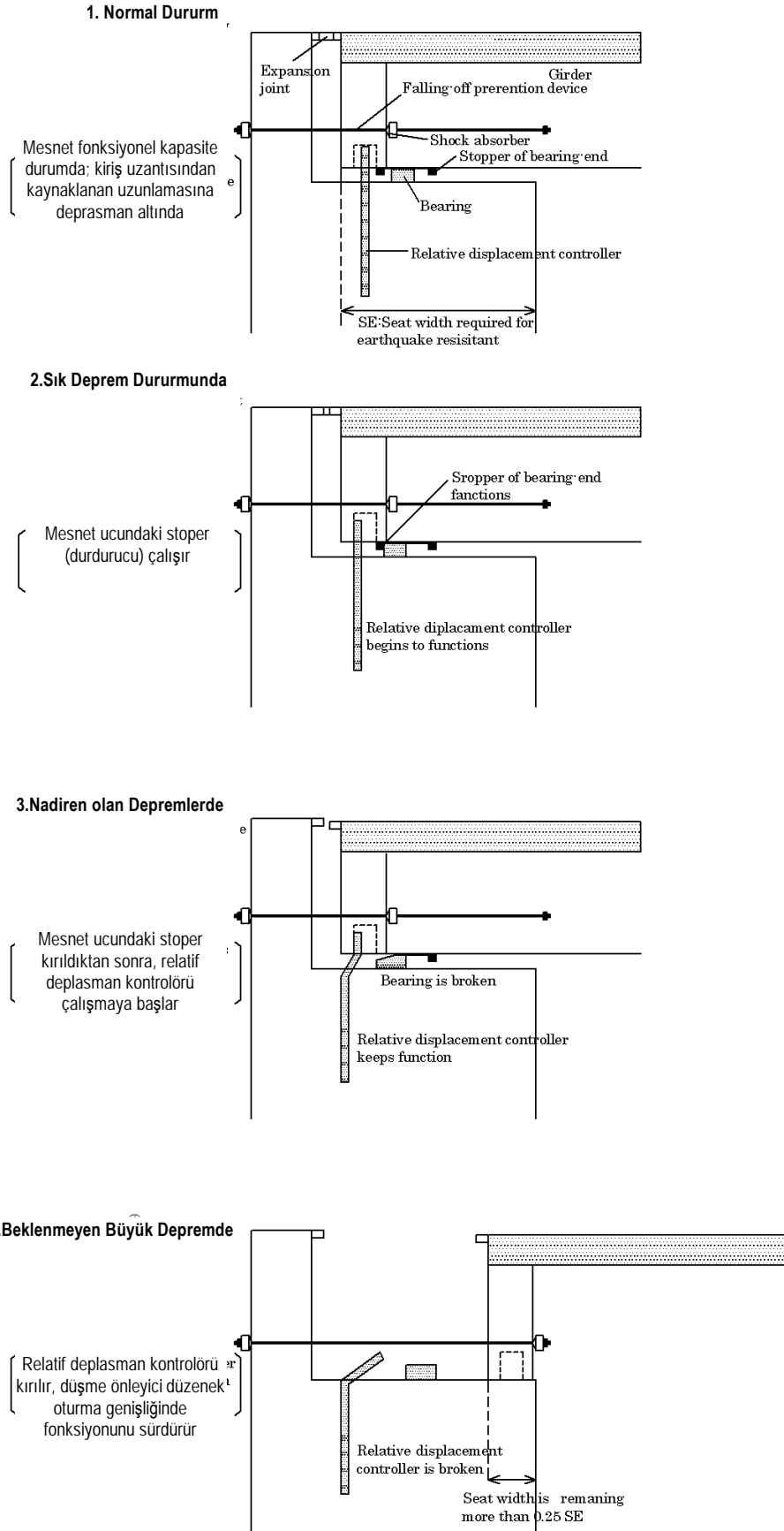
Ayakta ciddi çatlak meydana gelmiş ve yük taşıma kapasitesi düşmüş olsa da kirişin boyundurluk ile desteklenmiş olması acil kullanım için bir sonraki en iyi çözümü verebilir.

Aşağıda Japonya'daki “düşme önleyici sistem”in şematik çizimi görülmektedir. Şekil 9.5.4 'da bu aletin bazı tipik örnekleri görülmektedir.

Şekil 9.5.5 deprem şiddetinin her bir derecesindeki etkiyi açıklamaktadır. Şekil 9.5.6'de iki komşu kiriş arasındaki görelî deplasmanın özel sıvı malzemeli damper ile kontrol edildiği bir örnek gösterilmektedir.

		Malzeme	Şematik Konfigürasyon	Notlar	
Boylamasına yönlü ilgili olarak	Düşme önleyici parça	Ötürna genişliğini arttırma		DesteK (parça) eklendi	
		Kirişler arası bağlayıcı parça			
	Düşme önleyici alet ve relatif deplasman kontrolü	Kiriş / Alt kısım ile birleştirme	ayak başı ve kiriş birleştirme		
			kirişin alt kısmına bağlama		Kiriş yan yüzünü yada altına tuttu
		ayak			Kiriş yan yüzünü yada altına tuttu
					
	Enlemesine yönde	çıkıntı	Ayaktan çıkıntı		
			Çıkıntı kombinasyonu		
			Ayaktan çıkıntı		Kirişin dış tarafına
			Çıkıntı kombinasyonu		
Ötürna yüzeyini arttırma	Ayak üzerindeki oturma yüzeyi				

Şekil 9.5.4 “Düşme önleyici sistem”e tipik örnek



Şekil 9.5.5 Deprem şiddetinin her bir derecesindeki etkisinin açıklanması



Şekil 9.5.6 Damper ile deplasman kontrolüne bir örnek

9.6. Yollar ve Trafik

9.6.1. Giriş

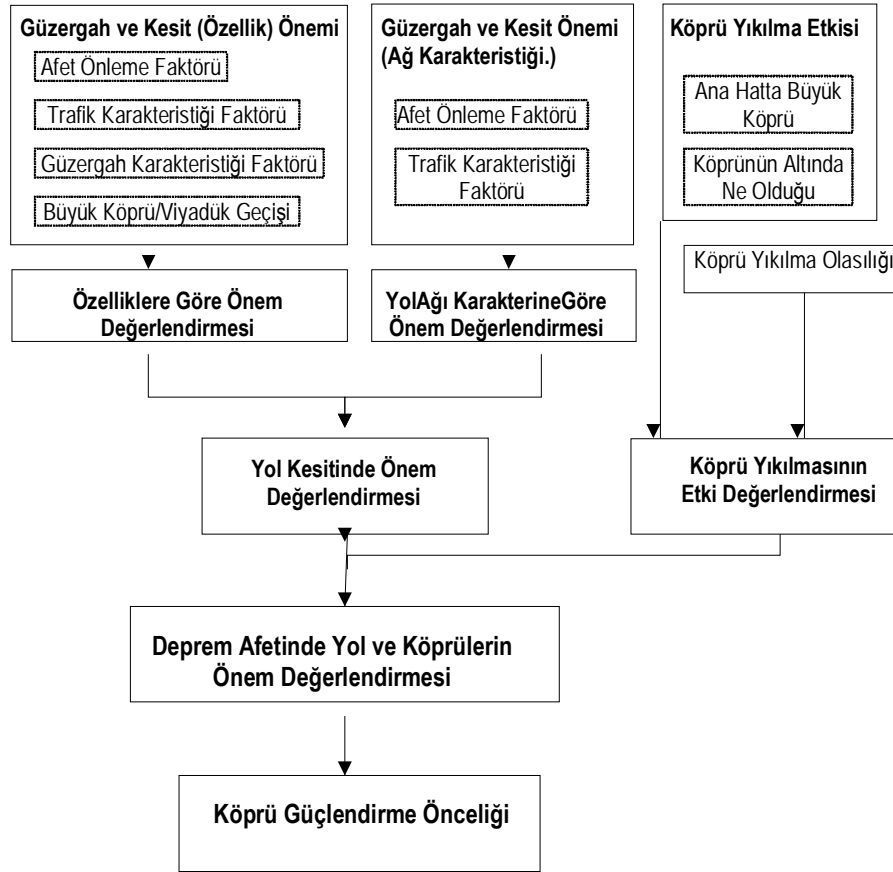
Yollar, kentsel fonksiyonları destekleme çerçevesinde ulaşım ve trafik açısından en önemli araçlardır. Lineer olarak uzayan yollar boyunca birçok çeşit iletişim, arz ve muamele tesisleri ve şebekeleri (şehir suyu, atık su, elektrik, gaz şebekeleri vb.) gömülüdür, ve böylece yolların sadece insan ve malzeme taşımacılığını değil bilgi iletimini de sağladığı görülmektedir. Bundan dolayı, deprem sırasında yollarda meydana gelecek olan hasarlar sadece yol boyunca gömülü yapılarda fiziksel hasar meydana getirmenin yanı sıra bu hasarlar sonucunda tüm sistemin işlememesi olasılığı sonucunu da doğurur. Bundan dolayı yollar herbiri depremden hemen sonra acil olarak gerekli olan tahliye, bilgi toplama, kurtarma, tıbbi yardım, vb., konularda önemli rol oynarlar ve ek olarak deprem sonrasında ihtiyaç malzemelerinin taşınmasında ve restorasyon aktivitelerinde kaçınılmaz olarak çok önemlidirler. Bu noktalar dikkate alındığında deprem hasarına karşı önleyici tedbirler almak ve restorasyon planlarını hazırlamak için ilk olarak “Çalışma”nın sonuçları ile yolların ve fonksiyonlarının mevcut durumu temel alınarak muhtemel bir depreme meydana gelebilecek olan hasarın boyutlarının hesaplanması gereklidir. Ek olarak, yol ağının önemi değerlendirilerek, hangi güzergah ve kesitlerin önemli olduğunun net olarak belirlenmesi, ve depreme karşı önleyici tedbirlerin önceliklerinin peşinen oluşturulması mümkün olur ve böylece daha güvenilir ulaşım sistemi inşa edilebilir.

Yukarıdaki görüşlerden yola çıkarak, bu bölümde, ulaşım ağının önemi, depreme karşı güçlendirme önceliklerinin belirlenmesi, ve yol kenarlarındaki binaların göçmesi sonucunda yol kapanmalarından oluşacak hasarın hesaplanması tanımlanacaktır.

9.6.2. Yol Ağının Önem Değerlendirmesi

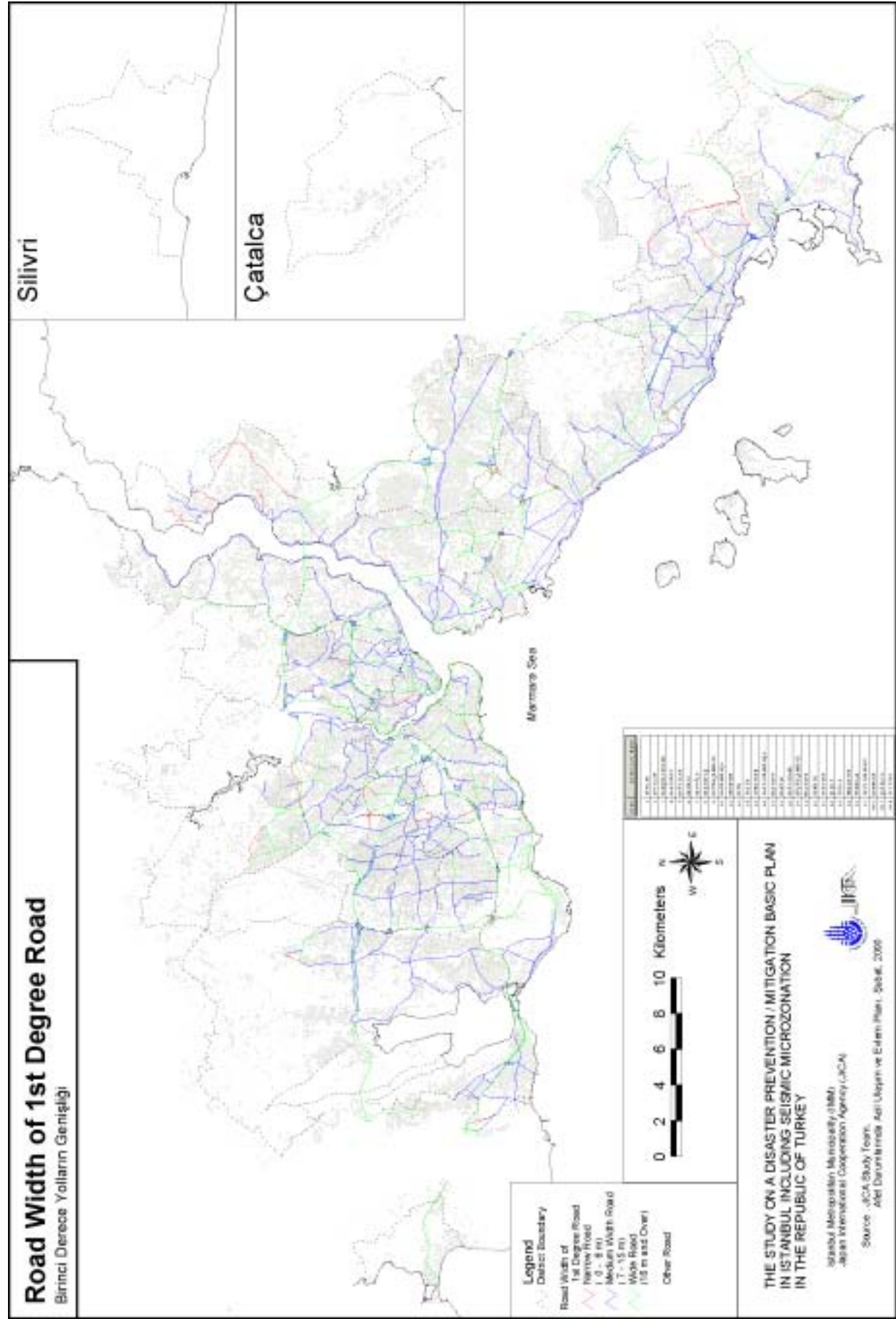
Çalışma Alanı içerisindeki yollar üzerinde ulaşım ağı özellikleri ve topoğrafik nedenlerden ötürü birçok köprü inşa edilmiştir. Bundan dolayı, afet önleme amacına yönelik olarak yol ağının önemi değerlendirilirken, sadece tüm ağın bölümleri boyunca güzergahların önemi üzerinde durulmamalı aynı zamanda etrafındaki bölgelere olan etkisi dikkate alınarak köprülerin hasar görmesi durumunda meydana gelecek etkinin de incelenmesi gereklidir. Dahası, herbir güzergahın öneminin belirlenerek önceliklendirilmesi ve bu çalışmaların dikkatli şekilde gözden geçirilip değerlendirilmesi sonucu, deprem afetine karşı köprüleri koruma konusunda alınacak tedbirlerle ilgili önerilerin ortaya konması etkili olacaktır.

Şekil 9.6.1 ‘de yol ağının önem değerlendirilmesi ile ilgili çalışmanın akışı gösterilmektedir

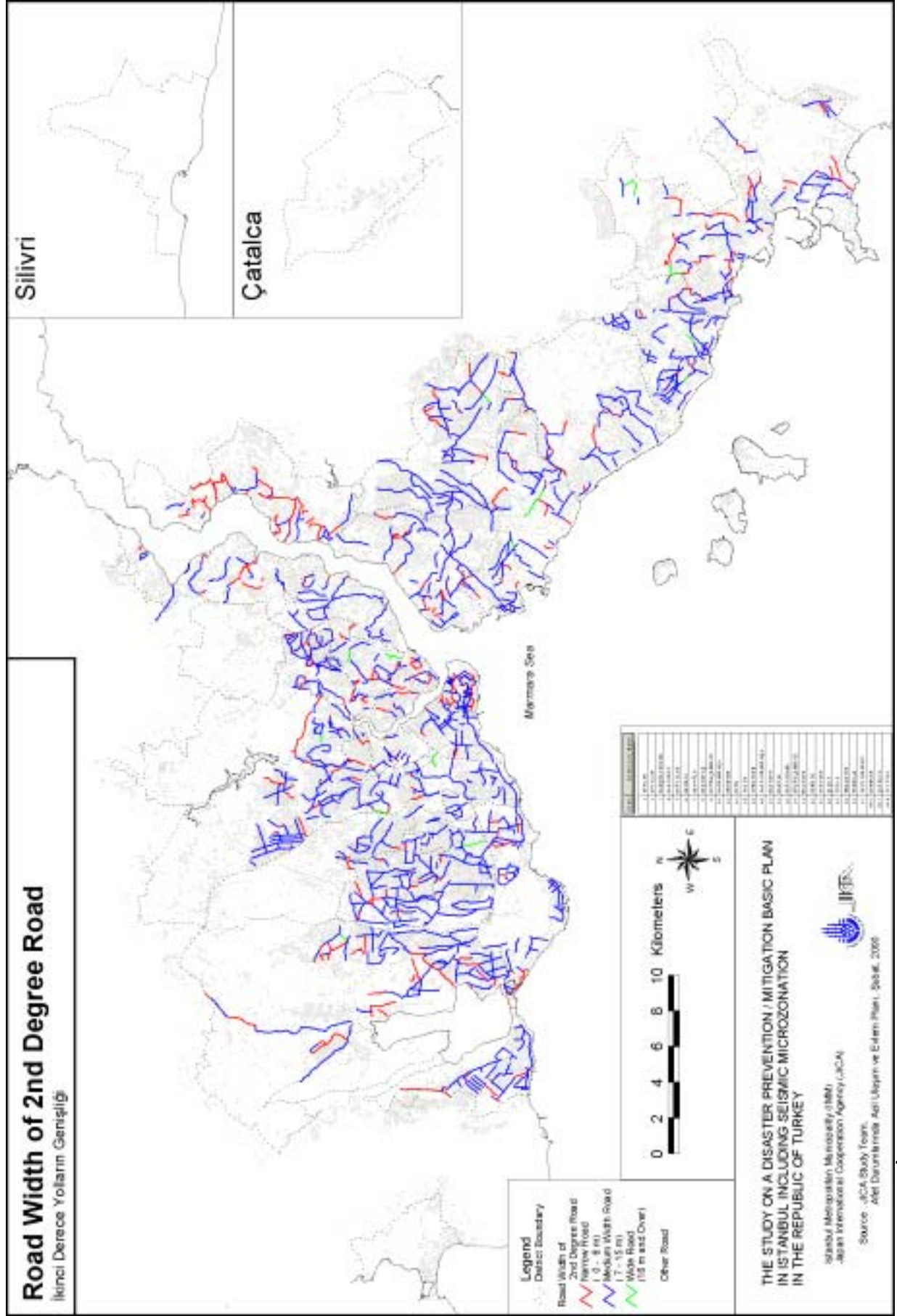


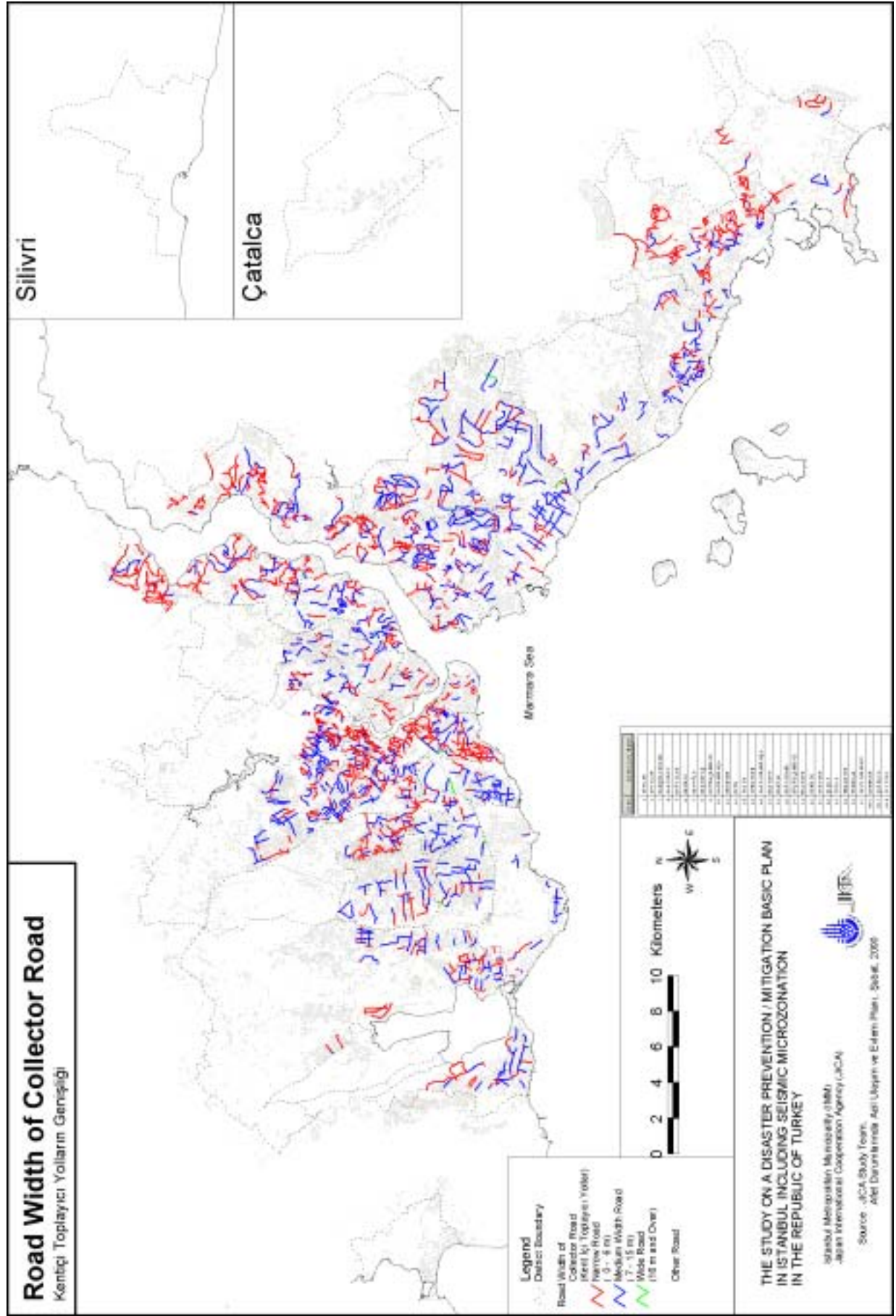
Şekil 9.6.1 Önem Değerlendirmesinin İncelenme Akışı

Şekil 9.6.2 - Şekil 9.6.4 arasında gösterildiği gibi, İBB yolları fonksiyonlarına göre sınıflandırmıştır. Yol ağının önemi değerlendirilirken, İBB'nin yapmış olduğu sınıflandırma referans alınmıştır.



Şekil 9.6.2 Birinci Derece Yolların Genişliği





Şekil 9.6.4 Kentçi Toplayıcı Yolların Genişliği

(1) Yol Ağı Boyunca Güzergah ve Kesitlerin Önem Değerlendirmesi

a. Özelliklere Göre Güzergah ve Kesit Önem Değerlendirmesi

Değerlendirme Metodu

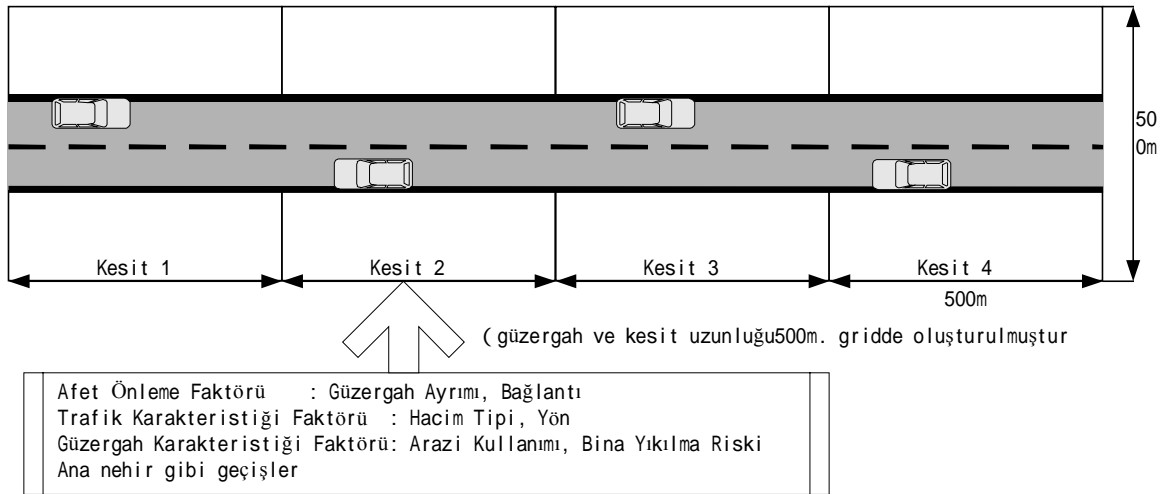
Şekil 9.6.5, 'de gösterildiği gibi, çalışılacak olan güzergah 500m gridlere ayrılarak, herbir kesit için özellikler olarak, güzergah ve kesitler boyunca afet önleme önemini, trafik özelliklerini, güzergah özelliklerini, ve herbir güzergahın nehir geçiş durumunu içeren faktörler belirlenmiştir. "j" özelliğinin değerlendirme "skor"u "Xj" olarak ifade edilmiştir ve Wj (özellik "j"nin ağırlık katsayısı) ile çarpılmıştır. "Xj x Wj" sonuçlarının toplamı, belirli bir güzergah ve kesitin nihayi öneminin belirlenmesi için hesaplanmıştır. Yani bir güzergah ve kesitin değerlendirme skoru, I_A, aşağıdaki formülasyon kullanılarak ifade edilir:

$$I_A = \sum_{j=1}^n W_j \cdot X_j$$

I_A : Hedef Güzergah ve Kesitin Önem Skoru

W_j : Özellik j 'nin Ağırlık Katsayısı

X_j : Dğerlendirmedeki Özellik j Puanları



Şekil 9.6.5 Güzergahta Özellik ve Değerlendirme

I_A değeri arttıkça güzergahın önemi artmaktadır. Göreceli olarak kesitler, değerlendirilen kesitlerin skor (yada puan) histogramında gösterildiği gibi "birinci", "ikinci", ve "diğer" şeklinde sınıflandırılmıştır. Aşağıda Şekil 9.6.5'de gösterilen 4 faktörün açıklaması yer almaktadır.

Afet Önleme Faktörü

Afet önleme faktörüyle ilgili olarak, yolun fonksiyonu gibi özellikler yardımıyla yolların (güzergah) ayrımının bağlayıcı durumları dikkate alınır.

Yolların (Güzergahların) Ayrımı (Şekil 9.6.6)

Güzergahlar 4 tip yol olduğu farzedilerek Tip 1- Tip 4 arasında sınıflandırılmıştır: 1) tahliye ve çıkış yolları, 2) acil ulaşım yolları, 3) öncelikle acil durum kullanımı için geliştirilmiş olan yollar, 4) diğer yollar. Tip 1 yollar kurtarma operasyonlarına yönelik yollar olmanın yanısıra depremzedeler için çıkış yollarıdır ve en yüksek puana sahiptirler. Tip 2 ve 3'ün önem derecesi bunu izlemektedir.

Bağlantılar (Şekil 9.6.7)

Diğer alanlar için kritik bağlantılar olarak hizmet gören geniş güzergah ve kesitlerin, kurtarma faaliyetleri ve dışarıdan gelecek olan yardım malzemelerinin ulaştırılmasında önemli bir fonksiyon gerçekleştirmesi beklenmektedir. Bundan dolayı, bu özelliklere sahip güzergahlara yüksek bir puan verilmiştir.

Trafik Karakteristiği Faktörü

Trafik özelliği faktörünün parçaları olarak trafik hacim kapasitesi ve yolların yönleri dikkate alınmıştır.

Hacim Tipi (Şekil 9.6.8)

Bu faktör hesaplama sırasında trafik hacmine eklenmiştir. Geniş ve hızlı trafik akışının gerçekleşmesini en güvenilir şekilde sağlayacak olan yollar yüksek puanla değerlendirilmiştir.

Yön (Şekil 9.6.9)

Çalışma alanı içerisinde, doğu-batı yönünde uzanan iki ulusal trafik aksı bulunmaktadır. Diğer trafik aksları bu ulusal aksları birbirine bağlayacak şekilde ve kuzey-güney yönünde uzanmaktadır ve bu güzergahlar şehiriçi trafik ağını oluşturmaktadırlar. Doğu-batı yönünde uzanmakta olan otoyollar İstanbul'daki ana "loop"(ana bağlantı yolları) yollarıdır. Kuzey-güney yönünde uzanmakta olan bağlantı yolları ve bunlara olan diğer direkt bağlantı yolları ise "radyal yollar"(dağılım hatları) olarak değerlendirilmiştir. Yol ağında, dağılım hatları arasında dolaşabilmek için ana bağlantı yollarını kullanmak gereklidir. Bundan dolayı, yol yönleriyle ilgili olarak, ana bağlantı yolları dağılım hatlarından daha yüksek puan almaktadır. Dağılım hatlarının dışındaki ana yollar fonksiyonlarına bağlı olarak, dağılım hatlarında olan ana yollardan daha az puan almaktadır.

Güzergah Karakteristiği Faktörü

Güzergah özelliği faktörünün bir parçası olarak, arazi kullanım durumu ve yol kenarındaki binaların deprem sırasında yıkılma risk derecesi dikkate alınmıştır.

Arazi Kullanımı (Şekil 9.6.10)

Arazi kullanım durumunun belirlenmesi için, İBB (2000) verisi kullanılmıştır. Yol kenarlarındaki arazi kullanımı ile ilgili olarak alanlar “konut”, “endüstri”, “kamu tesisi”, “ulaştırma tesisi”, “park”, ve “diğer alanlar” olarak sınıflandırılmış ve bu alanlardan geçen güzergah ve yol kesitleri bu sınıflandırmaya göre farklı puanlarla değerlendirilmişlerdir. Depremden sonra hasar meydana geldiğinde kamu tesisleri ile ulaştırma tesislerinin korunması ve fonksiyonlarını sürdürmeleri afetle mücadelenin gerçekleştirilmesi açısından ilk öncelikli kurtarma merkezleri olmalarından dolayı zaruridir. Bundan dolayı, arazi kullanım faktörüne göre, hasar gördüklerinde önemli etkiye yol açabilecek olan, kamu tesislerinden yada ulaştırma tesislerinden geçen güzergahlar en yüksek puanla değerlendirilmişlerdir.

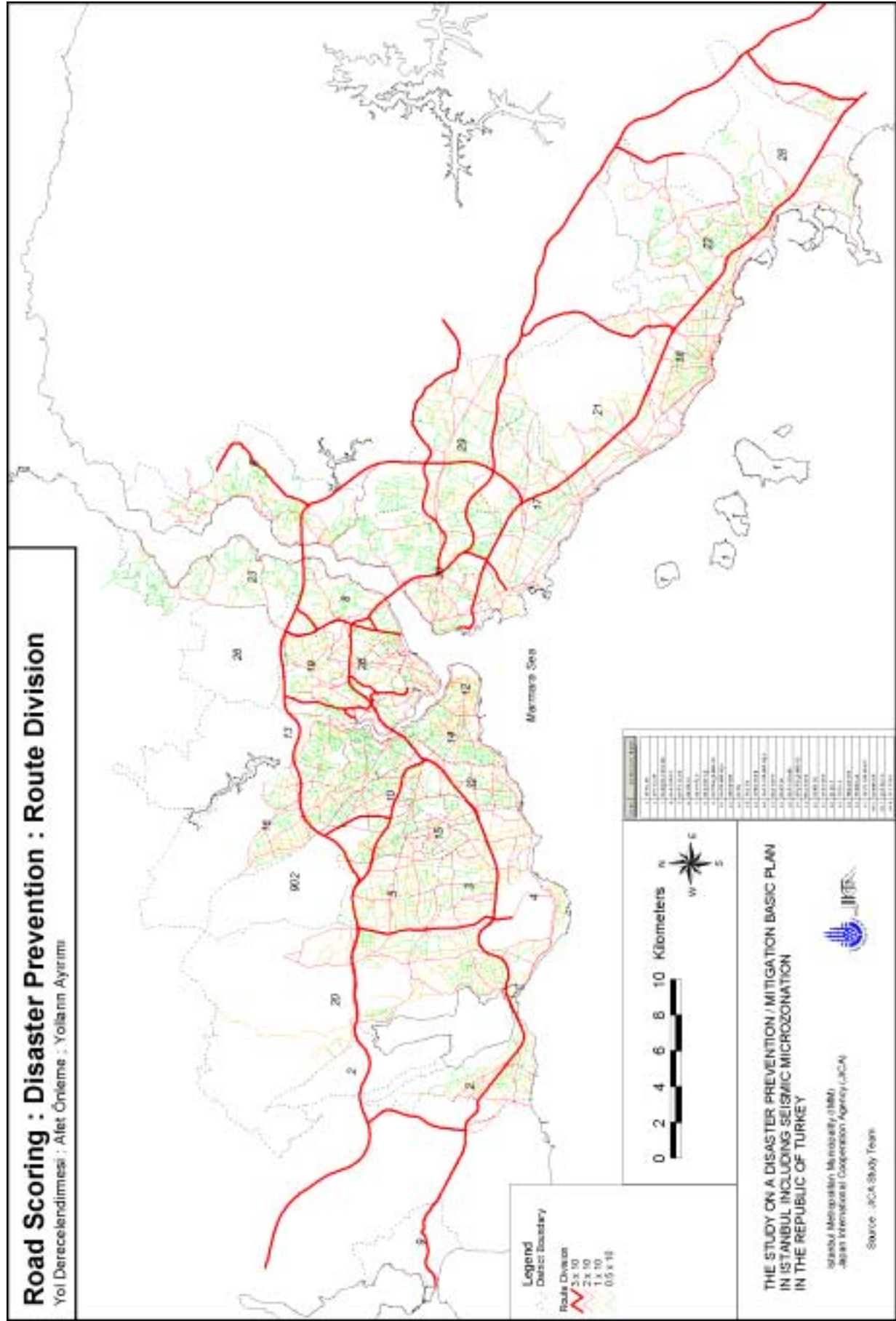
Bina Yıkılma Riski (Şekil 9.6.11)

Depremden dolayı yol kenarındaki binaların yıkılmasının, yolların fonksiyonerliğini önemli ölçüde azalttığı ve etkin ulaştırmayı sekteye uğrattığı ve trafik sıkışıklığına yol açtığı varsayılmıştır. Bundan dolayı, Model C’deki sarsıntıdan kaynaklanan bina yıkılma sayısı herbir 500 m grid içinde sayılarak herbir kesitin bina çökme riski belirlenmiş, ve bina yıkılma riski yüksek olanlar yüksek puanla değerlendirilmişlerdir.

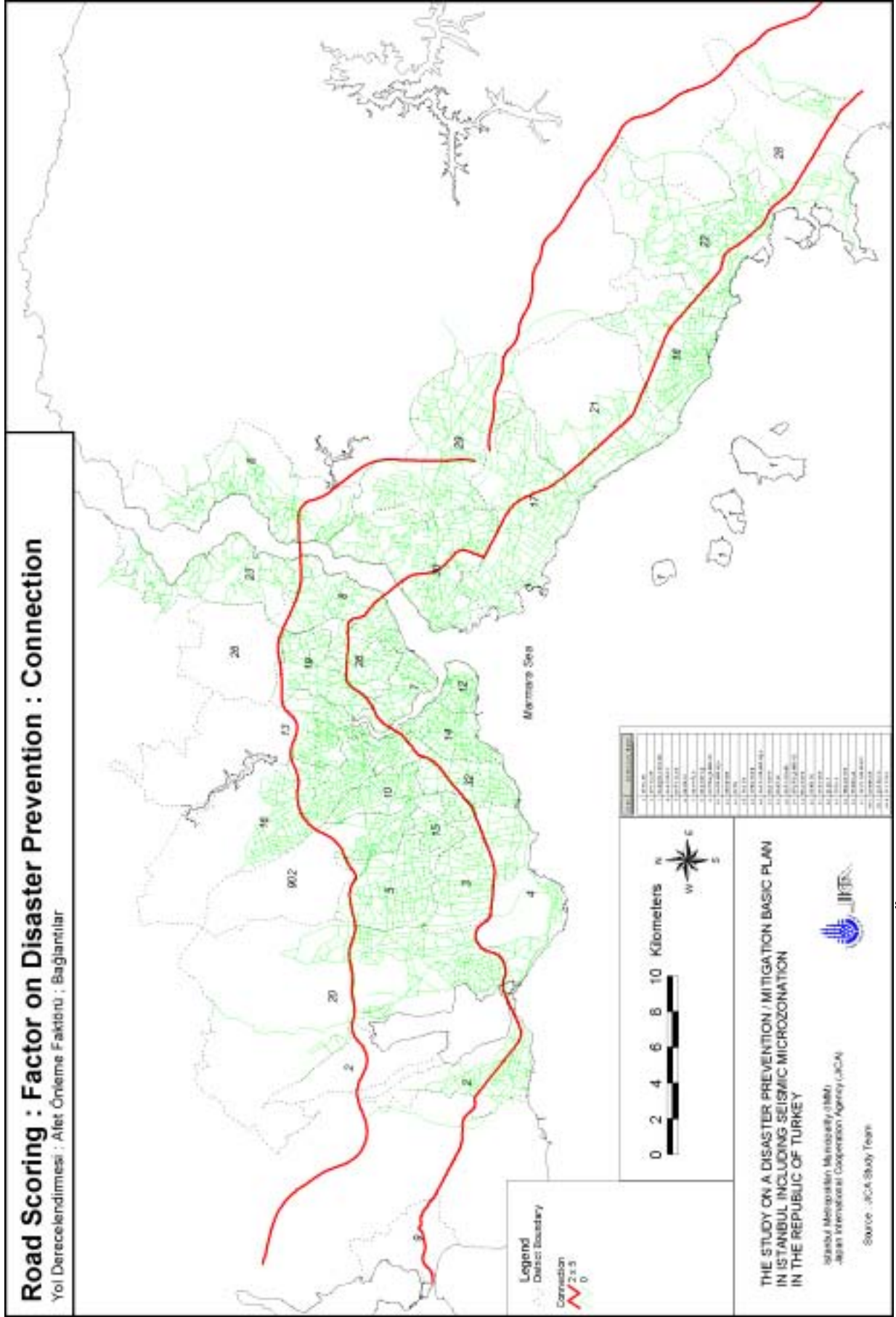
Büyük Köprü ve Viyadük Geçişleri (Şekil 9.6.12)

Nehirlerden ve boğazlardan geçen yollar afet önleme güzergahları gibi deprem afeti için çok önemli faktörlerdendir. İstanbul’da nehirlerden ve boğazdan geçen köprülerin hasar görmesinin bölgeler arasındaki bağlantının kopmasına ve tahliye, kurtarma ve restorasyon aktivitelerinin yerine getirilememesine yol açması muhtemeldir. Bu noktadan hareketle üzerinde 50 m yada daha uzun köprü bulunan güzergah ve yol kesitleri çok önemli olarak dikkate alınmış ve bağlı olarak yüksek puanla değerlendirilmişlerdir.

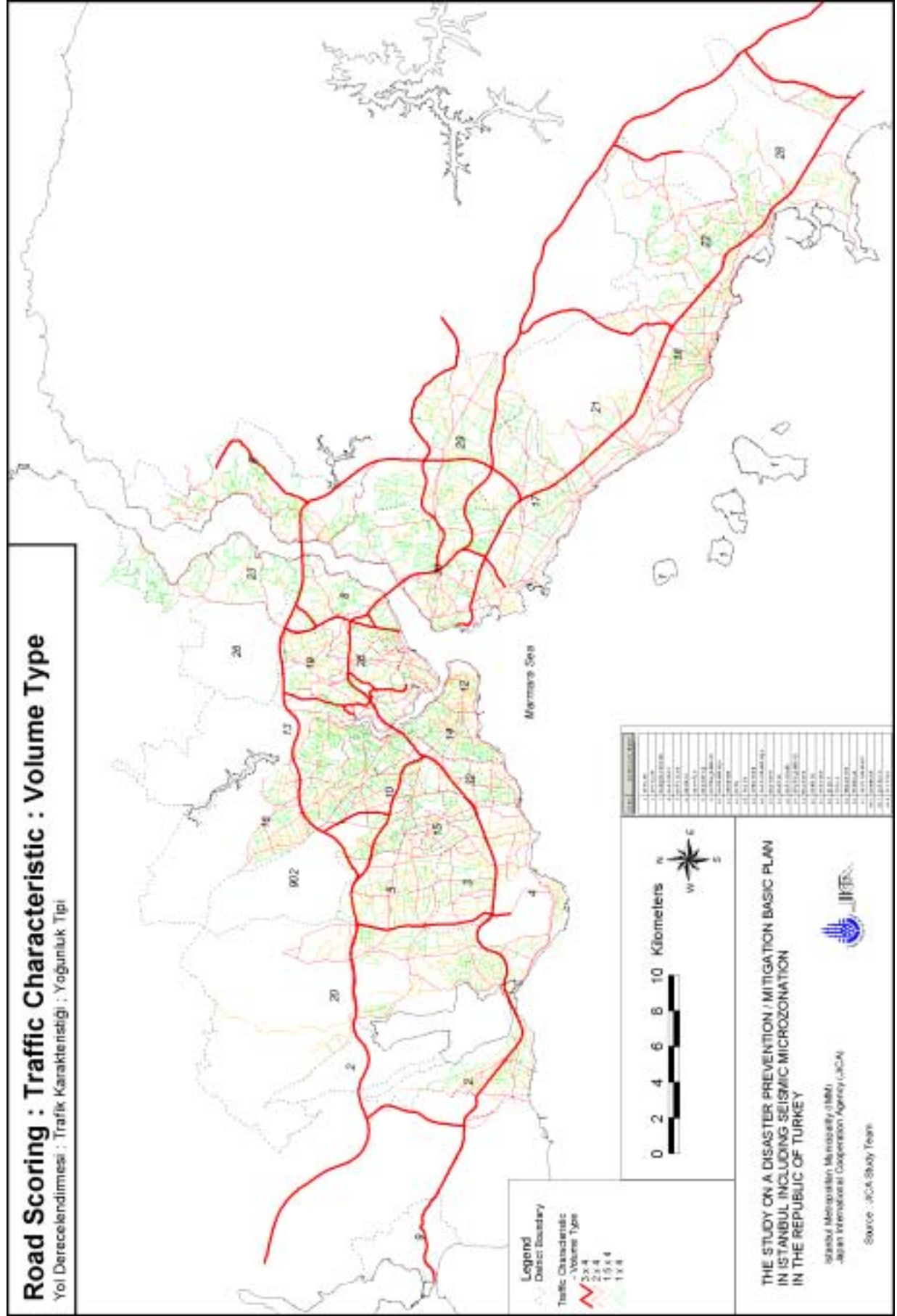
Tablo 9.6.1 ‘de güzergah ve kesitlerin önem değerlendirmesinde kullanılmış olan herbir özelliğin puan ve ağırlık katsayıları gösterilmiştir.



Şekil 9.6.6 Yol Derecelendirmesi: Afet önleme: Yolların Ayırımı



Şekil 9.6.7 Yol Derecelendirmesi: Afet Önleme Faktörü: Bağlantılar



Şekil 9.6.8 Yol Derecelendirmesi: Trafik Karakteristiği: Yoğunluk Tipi