



**KENT İÇİ SİNYALİZE KAVŞAKLARDA KAZA
TAHMİN MODELİ**

Serdar KISAOĞLU

**Danışman: Doç. Dr. Ahmet ATALAY
Doktora Tezi**

**İnşaat Mühendisliği Bölümü Ana Bilim Dalı
2023**

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

KENT İÇİ SİNYALİZE KAVŞAKLARDA KAZA TAHMİN MODELİ
(Crash Prediction Model at Urban Signalized Intersections)

DOKTORA TEZİ

Serdar KISAOĞLU

Danışman: Doç. Dr. Ahmet ATALAY

Erzurum
Aralık, 2023

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Serdar KISAOĞLU tarafından hazırlanan “Kent İçi Sinyalize Kavşaklarda Kaza Tahmin Modeli” başlıklı çalışması / ... / 20.... tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ulaştırma Bilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Ahmet TORTUM Atatürk Üniversitesi	Aslı Islak İmzalıdır
Danışman:	Doc. Dr. Ahmet ATALAY Atatürk Üniversitesi	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Atakan AKSOY Karadeniz Teknik Üniversitesi	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Ensar OĞUZ Atatürk Üniversitesi	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Doc. Dr. Ferit BAYATA Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi	Aslı Islak İmzalıdır

Enstitü Yönetim Kurulunun
....../....../.... tarih ve sayılı
kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü

Aslı Islak İmzalıdır

- **Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Doktora tezi olarak **Doç. Dr. Ahmet ATALAY** danışmanlığında sunulan “**Kent İçi Sinyalize Kavşaklarda Kaza Tahmin Modeli**” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	9	30
Kuramsal Temeller	10	30
Materyal ve Yöntem	20	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	1	20
Sonuç ve Öneriler	0	20
Tezin Geneli	8	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Serdar KISAOĞLU	Doc. Dr. Ahmet ATALAY
25.12.2023	25.12.2023
İmza: Aslı Islak İmzalıdır	İmza: Aslı Islak İmzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamda, bilimsel desteğini ve değerli vaktini esirgemeyen tez danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ahmet ATALAY' a en içten saygılarımla teşekkür ederim.

Doktora ders ve yeterlilik döneminde desteklerinden dolayı Sayın Prof. Dr. Mahir GÖKDAĞ hocama, doktora tez izleme komitemde bulunan Sayın Prof. Dr. Ahmet TORTUM ve Sayın Prof. Dr. Ensar OĞUZ hocalarıma, istatistiksel analiz konularında sürekli desteğine başvurduğum Sayın Doç. Dr. Ayca Mutlu YAĞANOĞLU'na emek ve katkılarından dolayı en içten saygılarımla şükranlarımı sunuyorum.

Çalışmalarım esnasında işyerimde gösterdiği sabırdan ve müsamahadan dolayı değerli şefim Sayın Abdulkadir ARAS 'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmada Erzurum İl Emniyet Müdürlüğüne ve Erzurum Büyükşehir Belediyesi Ulaştırma Dairesi Başkanlığına yapmış oldukları katkılardan dolayı teşekkür ederim.

Doktora çalışmam boyunca göstermiş oldukları sonsuz sabırdan dolayı değerli ailem Kübra KISAOĞLU, H. Melih KISAOĞLU ve İ. Celil KISAOĞLU 'na sevgilerimi sunuyorum.

Serdar KISAOĞLU

ÖZET

DOKTORA TEZİ

KENT İÇİ SİNYALİZE KAVŞAKLARDA KAZA TAHMİN MODELİ

Serdar KISAOĞLU

Danışman: Doç. Dr. Ahmet ATALAY

Bu çalışmanın amacı, kentsel alanlarda yer alan sinyalize kavşaklar için, kavşakların geometri ve konum özelliklerini kullanılarak bir kaza tahmin modeli hazırlamaktır.

Çalışmada kavşağa giriş yapan araç sayısı, yıllık ortalama günlük trafik, kavşak kollarının boyuna eğimleri, en yakın kavşağa mesafe, kavşağa giriş yapan şerit sayısı, kavşak kolları arasındaki yatay açılar ve kavşak fonksiyonel alan içerisindeki tesis sayısı gibi değişkenler incelendi. Bu çalışmada genelleştirilmiş lineer model ve genelleştirilmiş lineer karma model yöntemleri kullanıldı. Belirlenen örnek sahada, kavşakların geometri ve konum özellikleri kullanılarak iki farklı kaza (maddi hasarlı kaza ve ölümlü yaralanmalı kaza) şiddeti için ayrı ayrı kaza tahmin modeli oluşturuldu. Çalışma kapsamında kent içi sinyalize kavşaklar için güvenlik performans fonksiyonları ve kaza değişim faktörleri hesaplandı.

Bu çalışma sonucunda kentsel alandaki sinyalize kavşakların fonksiyonel alanında bulunan tesis bağlantıları ile kavşağa yaklaşan şerit sayılarının kaza frekansını önemli miktarda artırdığı belirlendi. Kavşak kollarındaki tali yol trafiğindeki azalışın şiddetli kaza frekansını artırdığı tespiti yapıldı. Kentsel alanda bulunan sinyalize kavşak kollarındaki negatif boyuna eğimin maddi hasarlı kaza frekansına olan etkileri ile kavşak kolları arasındaki maksimum yatay açının kaza frekansındaki etkileri hesaplandı. Modelin, çalışma sahasındaki kazaları tahmin etme kabiliyetinin, başka sahalarda yapılan kaza tahmin modelleri ile karşılaştırıldı.

Anahtar Kelimeler: Kaza tahmin modeli, sinyalize kavşaklar, güvenlik performansı fonksiyonu, kaza değişim faktörü

Aralık 2023, 137 sayfa

ABSTRACT

DOCTORAL DISSERTATION

CRASH PREDICTION MODEL AT URBAN SIGNALIZED INTERSECTIONS

Serdar KISAOĞLU

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet ATALAY

The aim of this study is to prepare a crash prediction model for signalized intersections in urban areas, using the geometry and location features of the intersections.

In the study, variables such as the number of vehicles entering the intersection, annual average daily traffic, longitudinal slopes of intersection legs, distance to the nearest intersection, number of lanes entering the intersection, horizontal angles between intersection legs and the number of facilities within the functional area of the intersection were examined. Generalized linear model and generalized linear mixed model methods were used in this study. In the specified sample area, a crash prediction model was created separately for two different accident severities (property damage crash, death or injury crash) using the geometry and location features of the intersections. Within the scope of the study, safety performance functions and crash modification factors were calculated for urban signalized intersections.

As a result of this study, it was determined that the facility connections in the functional area of signalized intersections in urban areas and the number of lanes approaching the intersection significantly increase the crash frequency. It was determined that the decrease in secondary road traffic at intersection legs increased the frequency of severe crashes. The effects of the negative longitudinal slope on the signalized intersection legs in the urban area on the property damage crash frequency and the effects of the maximum horizontal angle between the intersection legs on the crash frequency were calculated. The model's ability to predict crashes at the work site was compared with crash prediction models made at other sites.

Keywords: Crash prediction model, signalized intersections, safety performance function, crash modification factor

December 2023, 137 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ.....	xv
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	3
Trafik Kazalarının Meydana Geldiği Yol Kesimleri	4
Kavşaklar.....	5
Kavşak tasarımı.....	5
Kavşak türleri.....	7
Sinyalize kavşaklar.....	9
Sinyalize kavşaklar ve güvenlik.....	10
Kaza Tahmin Yöntemleri.....	12
Kaza tahmin modellerinde kullanılan yöntemler	13
Sinyalize kavşaklarda yapılmış kaza tahmin modelleri	16
Kaza tahmin modellerinde kullanılan değişkenler	16
Kaza Analizlerinde İncelenen Değişkenler ve Yöntemler	19
MATERYAL METOT	21
Materyal	21
Kaza verileri	23
Kaza verilerinin genel dağılımı	24
Değişkenler	27
TK (Toplam Kaza Frekansı)	28
MHKF (Maddi Hasarlı Kaza Frekansı).....	28
ŞKF (Şiddetli Kaza Frekansı)	29
KGYAS (Kavşağa Giriş Yapan Araç Sayısı).....	29

YOGT Tali	30
KGYS (Kavşaga Giriş Yapan Şerit Sayısı)	31
ÖSKEYM (Önceki Sonraki Kavşaga En Yakın Mesafe)	31
NEKT (Negatif Eğimli Kolların Toplamı).....	32
KKAMYA (Kavşak Kolları Arası Maksimum Yatay Açığı).....	33
DF (Diğer Faktörler)	34
Diğer bağımsız değişkenler.....	34
Çalışmada Kullanılan Metot	37
Temel bileşenler analizi	38
Genelleştirilmiş lineer modeller	40
Poisson regresyon analizi yöntemi.....	41
Aşırı yayılım (overdispersion)	42
Negatif binom model.....	42
Kaza tahmin modellerinde varyans bias uyumu	43
Çalışmada kullanılan hata metrikleri	44
Genelleştirilmiş lineer karma modeller.....	44
Karşılaştırma Yapılan Kaza Tahmin Modelleri	46
HSM kaza tahmin modeli	46
Lyon kaza tahmin modeli.....	48
Mcgee kaza tahmin modeli	49
Kaza değişim faktörü	49
ARAŞTIRMA BULGULARI	51
Değişkenlerin Belirlenmesi.....	51
TKF için Oluşturulan Modeller.....	53
TKF poisson model.....	53
TKF negatif binom model.....	53
TKF GLKM model	54
TKF kaza tahmin modeli.....	54
TKF kaza tahmin modeli ile HSM modelinin karşılaştırılması	55
TKF modelinde kullanılan değişkenlerin kaza frekansına etkileri	57
DF- TKF.....	57
NEKT - TKF	58
KKAMYA- TKF	58
KGYS - TKF.....	59
ÖSKEYM- TKF.....	60

NEKT+KKAMYA+TKF	60
TKF değişkeni için GPF 'nin elde edilmesi	61
MHKF için Oluşturulan Modeller.....	63
MHKF poisson model	63
MHKF negatif binom model	64
MHKF GLKM model	64
MHKF kaza tahmin modeli.....	65
MHKF modelinde kullanılan değişkenlerin kaza frekansına etkileri	65
DF- MHKF	66
NEKT- MHKF	66
KKAMYA- MHKF	67
KGYSŞ- MHKF.....	68
ÖSEYKM- MHKF	68
NEKT-KKAMYA-MHKF	69
MHKF değişkeni için GPF'nin elde edilmesi	69
ŞKF için Tahmin Modeli	71
ŞKF poisson model	71
ŞKF negatif binom model	72
ŞKF GLKM Model	72
ŞKF kaza tahmin modeli.....	73
Lyon, Mcgee, HSM modeli ile ŞKF tahmin modelinin karşılaştırılması	73
Modelde kullanılan değişkenlerin ŞKF etkileri	74
DF- ŞKF	75
KKAMYA- ŞKF	75
ÖSKEYM- ŞKF	76
KGYSŞ- ŞKF	77
ŞKF değişkeni için GPF'nin elde edilmesi	77
Kaza Tahmin Modelinin Değerlendirilmesi.....	79
Kaza Tahmin Modeli için KDF 'lerinin Hesaplanması	81
DF değişkeni için KDF_{DF}	82
NEKT değişkeni için KDF_{NEKT}	83
KKAMYA değişkeni için KDF_{KKAMYA}	84
KGYSŞ değişkeni için $KDF_{KGYSŞ}$	85
ÖSKEYM değişkeni için $KDF_{ÖSKEYM}$	86
KDF'lerin doğru tahmin etme gücü	87

Model Özeti.....	94
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	97
KAYNAKLAR.....	100
EKLER	106
ÖZGEÇMİŞ.....	119



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Örnek Kavşaklar Listesi	22
Tablo 2. Kazaların Gün Durumu/Tekli-Çoklu/Yüzey Durumu Dağılımı.....	24
Tablo 3. Kazaların Hafta İçi Dağılımı	24
Tablo 4. Kazaların Yıl İçi Dağılımı	24
Tablo 5. Kazaların Gün İçi Dağılımı	25
Tablo 6. Kaza Tahmin Modelinde Kullanılan Değişkenler	27
Tablo 7. Modelde Kullanılmayan Bağımsız Değişkenler.....	35
Tablo 8. Lyon Modeli İçin Kalibrasyon Katsayıları.....	48
Tablo 9. McGee Modeli İçin Kalibrasyon Katsayıları.....	49
Tablo 10. Temel Bileşenler Analizi	51
Tablo 11. Dönüştürülmüş Bileşen Matrisi	51
Tablo 12. Oluşturulması Planlanan Modelin Değişken Gurubunu Belirleme	52
Tablo 13. Çalışmada Kullanılan Değişkenler	52
Tablo 14. TKF Poisson Model.....	53
Tablo 15. TKF Negatif Binom Model	53
Tablo 16. TKF GLKM Model	54
Tablo 17. TKF Model Karşılaştırması	54
Tablo 18. Değişkenlerin Frekans Tablosu	55
Tablo 19. Poisson Model ile HSM Model'in Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	56
Tablo 20. TKF – KGYAS.....	61
Tablo 21. TKF GPF Model.....	62
Tablo 22 . TKF-KGYAS Karşılaştırma	62
Tablo 23. MHKF Poisson Model.....	63
Tablo 24. MHKF Negatif Binom Model	64
Tablo 25. MHKF GLKM Model	64
Tablo 26. MHKF Model Karşılaştırılması.....	65
Tablo 27. MHKF – KGYAS.....	69
Tablo 28. MHKF GPF Model.....	70
Tablo 29 . MHKF-KGYAS Karşılaştırma	70
Tablo 30. ŞKF Poisson Model.....	71
Tablo 31. ŞKF Negatif Binom Model.....	72

Tablo 32. ŞKF GLKM Model.....	72
Tablo 33 ŞKF model karşılaştırması	72
Tablo 34. Lyon, McGee, HSM, Model ve Gerçek Şiddetli Kazaların Karşılaştırılması	74
Tablo 35. ŞKF – KGYAS-YOGT Tali	77
Tablo 36. ŞKF GPF Model	78
Tablo 37. ŞKF-KGYAS Karşılaştırma	78
Tablo 38. Kaza Tahmin Modelleri.....	81
Tablo 39. Kaza Tahmin Modelleri-KDF	82
Tablo 40. KDF Fonksiyonları ve En Yakın Doğru Denklemleri.....	88
Tablo 41. KDF’lerin Doğrusallığı	94
Tablo 42. Kaza Tahmin Model Özeti	95
Tablo 43. Kaza Tahmin Model Kontrol Tablosu (10 Yıllık Ortalama Kaza Frekansları).....	95

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Trafik kazalarını etkileyen faktörler (HSM 2010).	3
Şekil 2. Kavşaklardaki çakışmalar	7
Şekil 3. Farklı seviyeli ve hemzemin kavşak kriteri (Sweroad 2001).....	8
Şekil 4. Dönel kavşaklardaki çakışma.....	9
Şekil 5. Kavşak tipi seçimi	10
Şekil 6. Sinyalize kavşak kaza bölgeleri	12
Şekil 7. Dört kollu ve üç kollu kavşaklardaki çakışma sayısı	17
Şekil 8. Kavşak fonksiyonel alanlarının elemanları (HSM, 2010).....	18
Şekil 9. Erzurum şehir merkezindeki çalışma alanı	21
Şekil 10. Çalışma alanının bulunduğu kentsel yol ağı	22
Şekil 11. Q-Q normal dağılım grafiği	23
Şekil 12. Kazaların gün içindeki dağılımı	26
Şekil 13. Kazaların hafta içindeki dağılımı	26
Şekil 14. Kazaların yıl içindeki dağılımı.....	27
Şekil 15. TKF saçılım grafiği	28
Şekil 16. MHKF saçılım grafiği	28
Şekil 17. ŞKF saçılım grafiği	29
Şekil 18. KGYAS kaza frekanslarındaki değişim	30
Şekil 19. YOGT Tali kaza frekanslarındaki değişim	30
Şekil 20. KGYŞS kaza frekanslarındaki değişim.....	31
Şekil 21. ÖSKEYM kaza frekansları arasındaki değişim	32
Şekil 22. Bağlantı – Kavşak	32
Şekil 23. NEKT ve kaza frekansları değişimi.....	33
Şekil 24. Kavşak kolları arasında maksimum yatay açı- toplam kaza frekansı	33
Şekil 25. Kavşak fonksiyonel alanı	34
Şekil 26. DF kaza frekanslarındaki değişim.....	34
Şekil 27. Değişkenlerin korelasyon ilişkisi	36
Şekil 28. Çalışma şeması.....	37
Şekil 29. Modellerde varyans-bias dengesi.....	44
Şekil 30. HSM – model karşılaştırması.....	56
Şekil 31. TKF-DF	57
Şekil 32. TKF-NEKT	58
Şekil 33. TKF-KKAMYA.....	59

Şekil 34. TKF-KGYŞS	59
Şekil 35. TKF-ÖSKEYM	60
Şekil 36. TKF-NEKT+ KKAMYA	61
Şekil 37. TKF için GPF grafiği	63
Şekil 38. MHKF-DF	66
Şekil 39. MHKF-NEKT	67
Şekil 40. MHKF-KKAMYA	67
Şekil 41. MHKF-KGYŞS	68
Şekil 42. MHKF-ÖSEYKM	68
Şekil 43. MHKF-KKAMYA-NEKT	69
Şekil 44. MHKF – KGYAS Grafiği	71
Şekil 45. Lyon, McGee, HSM modeli ile çalışma sahasında olan şiddetli kazaların karşılaştırılması	73
Şekil 46. ŞKF-DF	75
Şekil 47. ŞKF-KKAMYA	76
Şekil 48. ŞKF-ÖSKEYM	76
Şekil 49. ŞKF-KGYŞS	77
Şekil 50. ŞKF – KGYAS Grafiği	79
Şekil 51. TKF tahmin modeli	80
Şekil 52. MHKF tahmin modeli	80
Şekil 53. ŞKF tahmin modeli	81
Şekil 54. KDF_{DF}	83
Şekil 55. KDF_{NEKT}	84
Şekil 56. KDF_{KKAMYA}	85
Şekil 57. $KDF_{KGYŞS}$	86
Şekil 58. $KDF_{ÖSKEYM}$	87
Şekil 59. KDF_{TKFDF} için doğrusallık	89
Şekil 60. KDF_{MHKFDF} için doğrusallık	89
Şekil 61. $KDF_{ŞKFDF}$ için doğrusallık	90
Şekil 62. $KDF_{TKFNEKT}$ için doğrusallık	90
Şekil 63. $KDF_{MHKFNEKT}$ için doğrusallık	90
Şekil 64. $KDF_{TKFKKAMYA}$ için doğrusallık	91
Şekil 65. $KDF_{MHKFKKAMYA}$ için doğrusallık	91
Şekil 66. $KDF_{ŞFKKAMYA}$ için doğrusallık	91
Şekil 67. $KDF_{TKFKGYŞS}$ için doğrusallık	92

Şekil 68. $KDF_{MHKFKGYSS}$ için doğrusallık	92
Şekil 69. $KDF_{ŞKFKGYSS}$ için doğrusallık	92
Şekil 70. $KDF_{TKFÖSKEYM}$ için doğrusallık	93
Şekil 71. $KDF_{MHKFÖSKEYM}$ için doğrusallık.....	93
Şekil 72. $KDF_{ŞKFÖSKEYM}$ için doğrusallık.....	93
Şekil 73. TKF tahmin grafiği	96
Şekil 74. MHKF tahmin grafiği	96
Şekil 75. ŞKF tahmin grafiği.....	96



KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
ABK	: Akaike Bilgi Kriteri
FARS	: Fatality Analysis Reporting System
GLM	:Genelleştirilmiş Lineer Modeller
GLKM	:Genelleştirilmiş Lineer Karma Modeller
GPF	: Güvenlik Performans Fonksiyonu
HS	: Hizmet Seviyesi
HSM	: Highway Safety Manual
KABCO	: (K:Fatal, A:Disabling Injury, B:Evident Injury, C: Possible Injury, O: Property Damage Only)
KDF	: Kaza Değişim Faktörü
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
KGYS	: Kavşağa Giriş Yapan Şerit Sayısı
KİTĞİ	: Karayolu İyileştirme ve Trafik Güvenliği
KKAFF	: Kavşak Kolları Arasındaki Açık Farkı
KKAMYA	: Kavşak Kolları Arasında Maksimum Yatay Açık
KKAMİYA	: Kavşak Kolları Arasında Minimum Yatay Açık
KKS	: Kavşak Kol Sayısı
MaPE	: Maksimum Pozitif Eğim
ME	: Mutlak Eğim
MHKF	: Maddi Hasarlı Kaza Frekansı
MHKF _G	: Maddi Hasarlı Kaza Frekansı Gerçek
MHKF _{MT}	: Maddi Hasarlı Kaza Frekansı Model Tahmini
MHKF _{GPFT}	: Maddi Hasarlı Kaza Frekansı GPF ve KDF ile Tahmini
MinNE	:Minimum Negatif Eğim
NEKT	: Negatif Eğimli Kolların Toplamı
NCHRP	: National Cooperative Highway Research Program
OHKK	: Ortalama Hata Karelerinin Karekökü
ÖSEYKM	: Öncesi Sonrası En Yakın Kavşağa Mesafe
SDS	: Sağa Dönüş Şeridi

SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
ŞKF	: Şiddetli Kaza Frekansı
ŞKF _G	: Şiddetli Kaza Frekansı Gerçek
ŞKF _{MT}	: Şiddetli Kaza Frekansı Model Tahmini
ŞKF _{GPFT}	: Şiddetli Kaza Frekansı GPF ve KDF ile Tahmini
TKF	: Toplam Kaza Frekansı
TKF _G	: Toplam Kaza Frekansı Gerçek
TKF _{MT}	: Toplam Kaza Frekansı Model Tahmini
TKF _{GPFT}	: Toplam Kaza Frekansı GPF ve KDF ile Tahmini
YOGT	: Yıllık Ortalama Günlük Trafik



GİRİŞ

Dünyada her geçen gün yol güvenliğinin önemi artmaktadır. Taşıt endüstrisindeki üretim artıkça, yol üzerindeki güvenlik sorunu buna paralel olarak gelişmektedir. Trafik güvenliği çalışmalarının amacı, karayollarında meydana gelen trafik kazalarını azaltmaktır. Bu alanda uygulayıcılar ve araştırmacılar gelişen dünyaya paralel olarak, devamlı yeni uygulamalar ve standartlar geliştirmişlerdir. Yapılan birçok yeni uygulama karayolu ulaşımında meydana gelen kaza frekansını ve şiddetini azaltsa da, Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde trafik kazaları ve sonuçları daha ciddi bir sorundur. Türkiye de 2019 yılında 1.168.144 adet trafik kazası meydana gelmiş olup, bu kazalarda 5.473 kişi hayatını kaybederken, 283.234 kişi yaralanmıştır(Anonim 1 2020). Son yıllarda Türkiye’de trafik güvenliği sorununda azalma eğilimi gösterse de, gelişmeye paralel olarak araç sahipliğindeki artış ve yolculuk taleplerinin artmasına karşılık gerekli önlemler alınmadığı takdirde, trafik kazalarının daha da artma ihtimali vardır. Türkiye de bir milyon otomobil sayısına karşı ölen kişi 438 adet iken, Almanya da 69 adet, Fransa’da 107 adet, Romanya da 340 adet ve Avrupa Birliğinde ise 96 adettir (Anonim 1 2020). Bu rakamların Türkiye’de trafik kazalarının önemli bir sorun olduğunu göstermektedir.

Kavşaklar birden fazla yönde gelen trafik akımlarının kesiştiği, ayrıldığı, birleştiği ve örüldüğü alanlardır. Bu nedenle kavşaklarda trafik güvenliği daha önem arz etmektedir. Kavşaklar yol ağında kapladıkları alan az olmasına rağmen kazaların önemli bir kısmı burada olmaktadır. 2019 yılında Türkiye’de kentsel alanlarda olan toplam ölümlü yaralamalı kazaların % 44’ü kavşaklarda meydana gelmiştir. Toplam kazaların ise %38’i kavşaklarda olmuştur (Anonim 2 2020).

Kaza tahmin modelleri, belirlenen bir bölgede meydana gelen kazaları etkileyen etmenleri ve bu etmenlerin kazalara olumlu ya da olumsuz etki miktarlarını sayısal olarak gösterir. Bu göstergeleri kullanarak o bölgedeki kazaları azaltan veya artıran faktörler belirlenir. Böyle bir modelleme yapılan sahada, çalışılan bölge için gelecekte daha güvenli yol ve kavşak tasarlamının imkânı oluşur. Yapılan veya restore edilen yol ağında kaza frekansının ve kaza şiddetinin geçmişe oranla ne kadar azalacağı veya artacağı belli bir güvenlik sınırı içerisinde kaza tahmin modeli vasıtasıyla belirlemek de mümkün olmaktadır. Sonuç olarak Ülkemiz gibi trafik kazalarının çok yüksek olduğu bir yerde, trafikle ilgili sorunlarımızı ortaya çıkarmak, nedenlerini görmek ve çözümlerini de bulmak trafik kaza tahmin modelinin amacıdır.

Bu çalışmanın amacı, kentsel alanda bulunan sinyalize kavşaklarda meydana gelen kazaları, kavşakların geometrik ve konum özelliklerini kullanarak kaza tahmin model geliştirmek, trafik kazalarına etkisi olan değişkenlerin kazalar üzerindeki etki miktarlarını belirlemektir.

Bu alışma beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde konunun önemi ve amacı anlatılmıştır. İkinci bölümde konu hakkında temel bilgilerden bahsedilmiştir. Bu bölümde geçmişte konu hakkında yapılan çalışmalar anlatılmıştır. Üçüncü bölümde konunun araştırılması için verinin elde edildiğı saha anlatılmıştır. Sahadaki kaza verileri sunulmuştur. Bu bölümde değişkenlerin tanımı yapılmıştır. Bu bölümün ikinci kısmında değişkenlerin atanmasında kullanılan ve modelin yapıldığı metotlar anlatılmıştır. Ayrıca karşılaştırmada kullanılan modellerde bu bölümde izah edilmiştir. Dördüncü bölümde bulgular sunulmuştur. Beşinci bölümde çalışmanın sonuçları anlatılmıştır.

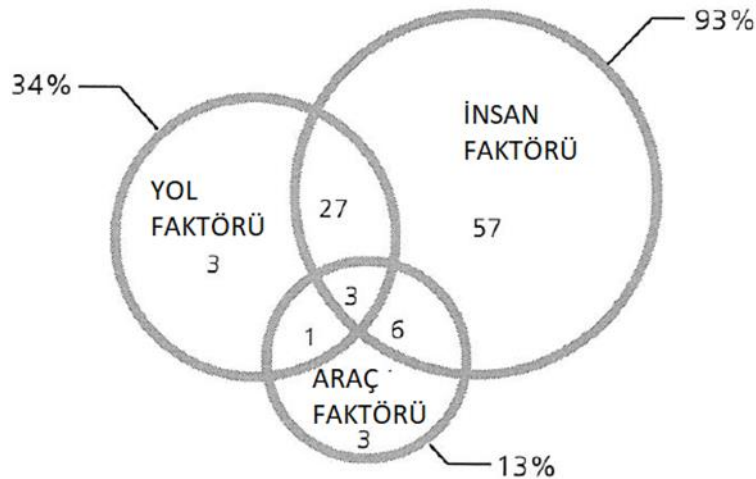
KURAMSAL TEMELLER

Karayolu üzerinde hareket halinde olan bir veya birden fazla aracın karıştığı ölüm, yaralanma veya zararlı sonuçlanmış olan olaydır (Anonim 2 2020).

Trafik kazaları nadir ve rasgele olaylardır. Trafik kazalarının nadir olması, kazaların oluşumdaki sıklığının trafik hacmiyle kıyaslandığında çok düşük olduğu ifade edilmektedir. Trafik kazalarındaki rastgelelik ise kazaların oluşumunun yer ve zaman olarak çok kesin olmadığı ifade edilmektedir (Elvik vd 2009). Kazalar, bir ulaşım sisteminde oluşan bütün olayların çok küçük bir bölümünü kapsar.

Kazalar genelde bir dizi olayın etkilenmesi ile oluşur. Şekil 1’de gösterildiği üzere kazaları etkileyen 3 ana faktör bulunur. Bu faktörler insan, yol ve araçtır. Bu etkiler kaza meydana gelmeden önce, kaza anında ve kaza sonrası olan etkileri, kazaya neden olur.

Örneğin kaza dan önce aracın frenlerinin aşınması, yolda bulunan kusur gibi nedenler kazaya neden olabilir. Kaza anında sürücü ve yolcuların emniyet kemeri kullanıp kullanmaması, hava yastıklarının açılıp açılmaması kaza şiddetini etkiler. Kaza sonrası doğru acil müdahale yapılıp yapılmaması kazayı ve şiddetini etkileyen bir faktördür.



Şekil 1. Trafik kazalarını etkileyen faktörler (HSM 2010).

Kazalar ile ilgili olarak nesnel güvenlik ve öznel güvenlik terimleri tanımlanmıştır (HSM 2010). Nesnel güvenlik, bir karayolu ağında veya tesisinde, belirlenen dönemde bağımsız gözlemcilerin kaza frekansını veya kaza şiddetini nicel ölçümler yardımı ile değerlendirilmesine odaklanır. Öznel güvenlik ise bir kişinin bir yol ağı sistemi içerisinde

kendini güvende hissetmesi ile ilgilidir. Öznel güvenlik kişiden kişiye değişir. Bu çalışmada nesnel güvenliğe odaklanılmıştır.

Bir yol ağının belirli bir yerinde yılda meydana gelen kaza sayısı, kaza frekansı olarak tanımlanır. Birimi kaza/yıl dır. Kaza frekansı, güvenlik değerlendirmesi ve kaza tahmin yöntemlerinde güvenliğin temel bir göstergesi olarak kullanılır. Bir yol ağı sisteminde belirli bir süre, belirli bir konum ve işletme koşullar için karşılaştırma, kaza frekansı veya kaza şiddeti ile yapılır.

Kaza şiddeti, maddi hasar veya yaralanma düzeyine göre değişir. Kaza şiddetinin seviye sayısı ile ilgili farklı tanımlamalar mevcuttur. Kaza şiddeti Türkiye’de 3 seviye olarak değerlendirilmektedir. Kaza raporların da ise maddi hasarlı ve ölümlü yaralanmalı kazalar olarak 2 seviyede kayıtlar tutulmaktadır. KABCO (K:Fatal, A:Disabling Injury, B:Evident Injury, C: Possible Injury, O: Property Damage Only) skalası olarak da bilinen 5 seviyeli sınıflama tanımı HSM (Highway Safety Manual)’de yapılmıştır (HSM 2010);(ANSI 1996). Kısaca KABCO olarak bilinen beş dereceli kaza şiddeti tanımı aşağıdadır.

K-Ölümlü kazalar

A-Kalıcı hasar bırakan veya özürlü kalınan yaralanmalı

B-İyileşebilen yaralanmalı

C-Güçsüzleştirmeyen muhtemel yaralanmalı

O-Maddi hasarlı; kazalar olarak sınıflandırılır.

Kaza tahmin modellerinde genelde 2 seviyede, kaza şiddeti incelenir. Bazı modeller sadece ölümlü yaralanmalı kazaları dikkate alır. Bu çalışmada da 2 seviyeli kaza şiddeti ile incelenecektir. Birinci seviye maddi hasarlı kazalar, ikinci seviye ölümlü yaralanmalı kazalar (şiddetli kazalar) olarak belirlendi.

Trafik kazalarında yaralanma seviyesi kazadan sonra değişebilmektedir. Örneğin kazadan hemen sonra iyi durumda gözüken bir kişi, sonradan kötüleşebilmekte ve hatta hayatını kaybedebilmektedir. Bu durum, olay anında tutulan kaza kayıtlarında gözükmeyebilmektedir. Bu nedenle kaza analizlerinde, yaralanmalı ve ölümlü kazaların bir kategoride değerlendirilmesi daha uygun olmaktadır.

Trafik Kazalarının Meydana Geldiği Yol Kesimleri

Trafik kazaları doğası gereği yol ağının her yerinde olma ihtimali vardır. Ancak bu ihtimalin miktarı her yerde farklılık gösterir. Kazalar kentsel alan, banliyö yolları ve kırsal yollarda oluşumu farklıdır. Bu bölgelerde trafik akım elemanları değişiklik gösterir. Örneğin

şehir içi yollarda yoğunluk artarken hız düşer. Yol etrafında savunmasız yol kullanıcıların sayısı artar. Bu durum kent içi kazaların oluşumunda etkili olur. Kırsal yollarda yoğunluk düşer ve hız artar. Kırsal yollarda hızın yüksek olması nedeniyle kazalar daha şiddetli olma eğilimindedir.

Kazaların trafik akımının kesintiye uğramadığı bölgeler ile kesintiye uğradığı kavşak bölgelerinde olma olasılığı değişir. Kavşaklar yol ağının daha küçük bir bölümünü kapsamalarına rağmen çok daha fazla kaza meydana gelir.

Kavşaklar

Bir yol ağında farklı yönlerden gelen trafik akımlarının kesiştiği ortak alanlar olarak tanımlanır.

Kavşaklar, iki veya daha fazla yolun kesiştiği ve ortak alanların mevcut olduğu yerlerdir. Bu alanlarda trafik akımları yön değiştirsin veya değiştirmesin birbirlerini etkiledikleri için kapasitenin azalmasına, trafik kazalarının artmasına, durma ve gecikmelere neden olurlar.

Kavşak tasarımı

Kavşaklar karayolunun önemli bir unsurudur. Yolun performans, güvenlik, hız, işletme maliyeti ve kapasite özellikleri tasarıma bağlıdır. Bu nedenle bütün kavşaklar kendi şartlarında tasarımı yapılmalıdır. Bunun için restore edilmesi planlanan bir kavşağın trafik ölçümleri, topoğrafik haritası, mülkiyet durumu, imar durumu, yaya trafiği, hayvan trafiği ve bölgenin sosyal durumu gibi veriler alınarak aşağıda belirtilen ilkeler doğrultusunda projelendirilir (Düzen 2022).

Kavşak düzenlenmesinde göz önüne alınan hususlar;

- Hızın kontrol altına alınması,
- Sürekliliğin sağlanması,
- Güvenliğin artırılması,
- Gecikmelerin azaltılması,
- Yeterli hizmet seviyesinin sağlanması,
- Taşıt işletme maliyetlerinin azaltılması.

Tasarımı Etkileyen Faktörler

İnsan Faktörü;

- Sürücü alışkanlıkları,

- Sürücünün karar verme kabiliyeti ve beklentileri,
- Algı-Tepki süresi,
- Hareket yörüngesine uyum,
- Yaya alışkanlıkları ve kavşağı kullanım sıklığı

Trafik Faktörü;

- Mevcut kapasite ve tasarım kapasitesi
- Dönüş trafiklerini de içeren trafik hacim değerleri(taşıt sınıflarına göre saatlik günlük)
- Zirve saat değeri
- Taşıt boyutları ve nitelikleri
- Taşıt hareketlerinin dağılımı (ayrılma, katılma, kesişme)
- Taşıt hızları,
- Trafik kazalarının sayısı ve analiz
- Yaya hareketleri

Fiziksel Faktörler

- Kavşak alanının geometrik özellikleri
- Çevresel faktörler
- Mülkiyet ve imar durumu,
- Güvenlik kriterleri
- Trafik işaretlemeleri ve aydınlatma ekipmanları
- Yaya geçitleri

Ekonomik Faktörler

- Yapım maliyeti
- İmar ve kamulaştırma kısıtlamaları ve maliyetleri
- Bakım işletme maliyeti

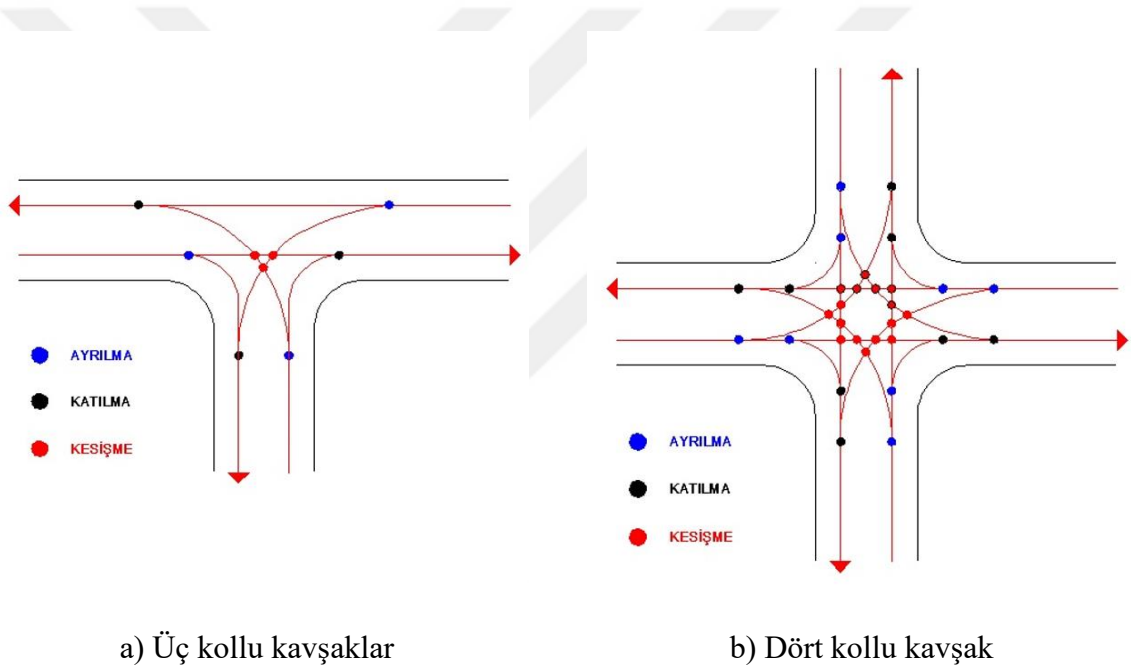
Sosyal Faktörler

- Demografik Yapı
- Kamuoyu

Kavşak türleri

Kavşaklar, farklı yönden gelen akımlar aynı kotta birleşiyor ise eş düzey kavşaklar olarak adlandırılır. Farklı düzeyde birleşme meydana geliyor ise farklı seviyeli kavşaklar olarak tanımlanır.

Hemzemin kavşaklarda, trafik akım yörüngeleri kavşak düzleminde farklı çakışma noktaları oluşturmaktadır. Bu çakışma noktaları katılma, ayrılma ve kesişme olarak adlandırılır. Çakışmalar iki veya daha kullanıcının birbirlerini etkilemesi ile kavşağın emniyet, kapasite, hız ve işletme koşullarında etkin olmaktadır. Çakışmalarda en tehlike durum kesişmedir. Kesişme tipi çakışmalarda kazalar şiddetli olur. Katılma tipi çakışmalarda genelde kazalar sürtünme veya arkadan çarpma şeklinde kazalar oluşur. Ayrılma tipi çakışmalarda kazalar yandan veya açılı meydana gelir.

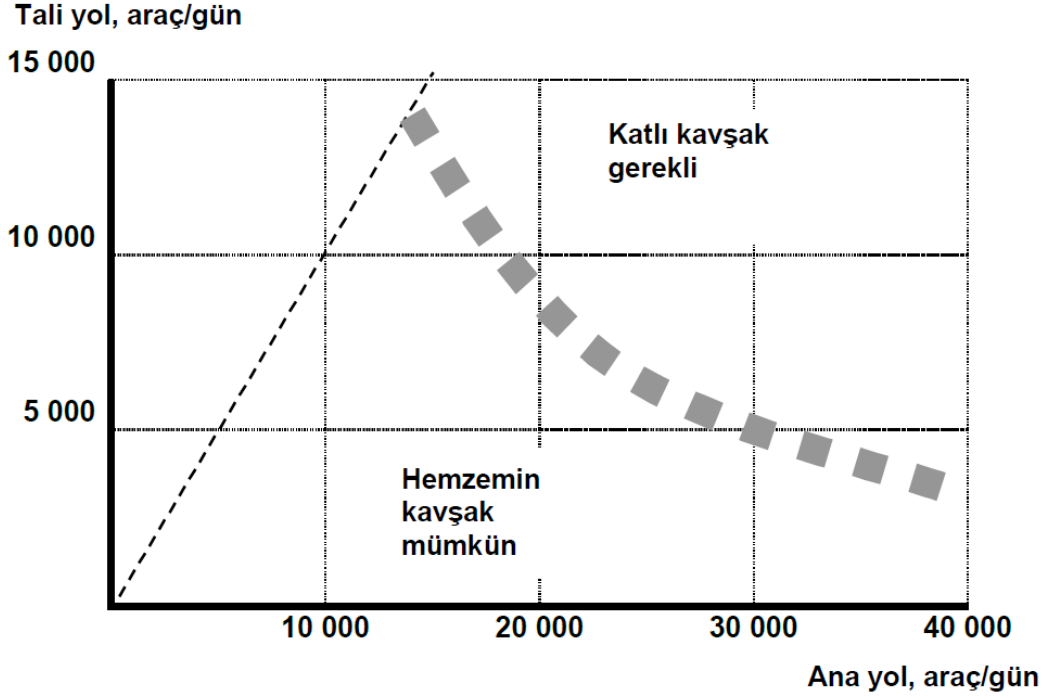


a) Üç kollu kavşaklar

b) Dört kollü kavşak

Şekil 2. Kavşaklardaki çakışmalar

Hemzemin bir kavşağın farklı seviyeli kavşağa dönüştürülmesi kavşak kollarındaki trafik miktarı ile belirlenir. Bazı özel durumlarda kurumlar güvenlik veya hizmet kalitesini artırmak gibi gerekçelerle düşük trafik sayısına sahip yollarda farklı seviyeli kavşaklar yapabilmektedirler. Türkiye için yapılan KİTĞİ (Karayolu İyileştirme ve Trafik Güvenliği) projesinde Şekil 3'de gösterilen trafik durumlarında farklı seviyeli kavşak yapılması önerilmiştir.



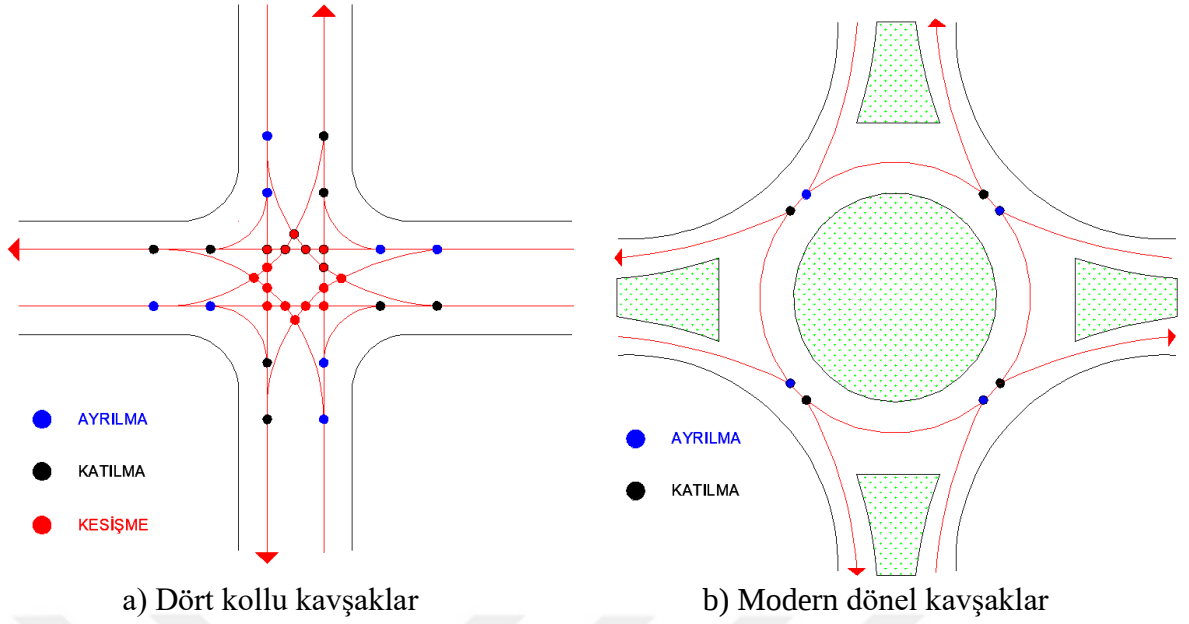
Şekil 3. Farklı seviyeli ve hemzemin kavşak kriteri (Sweroad 2001).

Eş düzey kavşaklar, denetimsiz kavşaklar ve denetimli kavşaklar olarak ikiye ayrılır. Denetimsiz kavşakla dur, yol ver işaretlemeleriyle işletilir. Dönel kavşaklar ise kavşağa giren araçların kavşağın içindeki araçlara yol vermesi prensibiyle çalışan bir tür denetimsiz kavşaklardır. Denetimli kavşaklar ise polis veya sinyalizasyon vasıtasıyla işletilen kavşaklardır.

Kavşaklar dört kollu ve üç kollu kavşaklar olarak kol sayısına göre de sınıflandırılırlar. Kavşakların dörtten fazla kolun olması istenmeyen bir durumdur.

Dönel kavşaklar dairesel veya eliptik merkezi bir ada etrafında, tek yönde dolaşım yapılan bir platformdan oluşan eş düzey kavşaklardır. En önemli özelliği, trafik önceliğinin dolaşım halindeki taşıtların olmasıdır. Trafik güvenliği ve trafik kapasitesinin yüksek olması nedeniyle, özellikle kent içi yollarda kullanılmaktadır. Bu kavşakların en önemli üstünlükleri şunlardır.

- **Trafik Güvenliği:** Yaklaşımındaki giriş hızları ve kavşak içindeki dolaşım hızları düşük olması ve çakışma noktalarının azlığı sebebiyle kaza oranları düşüktür. Bir dört kollu kavşakta 32 çakışma varken, dönel kavşaklarda bu rakam 8 dir.
- **Trafik Kapasitesi:** İşletme hızlarının düşük olması ve yüksek hizmet seviyesine sahip olması nedeniyle kapasiteleri yüksektir.



Şekil 4. Dönel kavşaklardaki çakışma

Dönel kavşaklar üç sınıfa ayrılır.

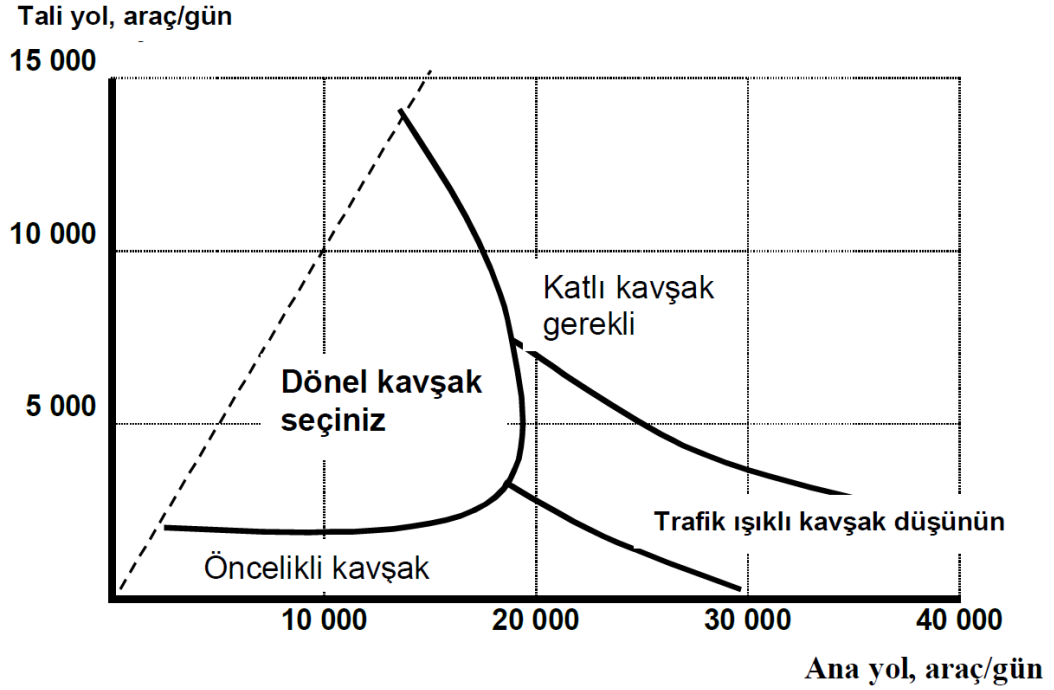
- Mini Dönel Kavşaklar (15.000 taşıt/gün, tasarım hızı 25-30 km/saat)
- Tek Şeritli Dönel Kavşaklar (25.000 taşıt/gün, tasarım hızı 30-40 km/saat))
- Çok Şeritli Dönel Kavşaklar (45.000 taşıt/gün, tasarım hızı 40-50 km/saat)

NCHRP (National Cooperative Highway Research Program)-500 (2004) nolu raporda 2002 yılı FARS (Fatality Analysis Reporting System) kaza verilerine göre ölümlü trafik kazalarının %23'ü kavşaklarda meydana geldiği bildirilmiştir. Kavşakların yol ağında kapladığı alan küçük olmasına rağmen, kaza miktarı fazladır. Bunun nedeni kavşaklar trafik hareketlerinin en sık çakıştığı noktalardır. Kavşaklar doğru tasarımı ve iyi bir trafik işletimi ile güvenlik seviyesi artırılabilir.

Sinyalize kavşaklar

Kavşaklarda, trafik miktarının artması ile daha güvenli ve verimli bir işletim olması için sinyalizasyon kurulur. Sinyalizasyon güvenlik risklerinin yüksek olduğu düşünülen trafik hacminin düşük olduğu kavşaklarda da kurulmaktadır. Sinyalizasyon sadece araç trafiği için değil, aynı zamanda kavşak etrafında bulunan yaya ve bisiklet trafiğini de düzenler ve kaza risklerini azaltır.

KİTĞİ projesi kapsamında hazırlanan bir raporda, Türkiye için Şekil 5 'de verilen anayol ve tali yol trafik durumuna göre kavşak tipinin tercih edilmesi önerilmiştir (Sweroad 2001).



Şekil 5. Kavşak tipi seçimi

Sinyalizasyon kurulumu, sürekli meydana gelen kazalar ve bu kazaların önlenmesi amacıyla alınan önlemlerin (örneğin hız sınırlamaları, geçiş yasağı veya bisiklet sürücüleri ve yayalar için yapısal geçiş yardımları) etkisiz kalması durumunda gerçekleştirilir ve özellikle aşağıdaki durumlarda uygulanmaktadır (FGSV 1992).

- Geçiş üstünlüğü kazalarının meydana gelmesi,
- Ana yolda yoğun trafik olması veya aşırı hız yapılması,
- Trafik güvenliğinin başka şekilde sağlanamadığı kavşakta yetersiz görüş mesafesi veya geçiş üstünlüğü hakkının yeterli derecede kavranamaması,
- Ana yoldaki trafik yoğunluğuna kıyasla tali kavşağa girişte yoğun trafik olması,
- Sola dönüş yapanlarla karşı yönden gelenlerin arasında veya motorlu taşıtlarla, geçiş yapan bisiklet sürücüleri ve yayalar arasında kazaların meydana gelmesi.

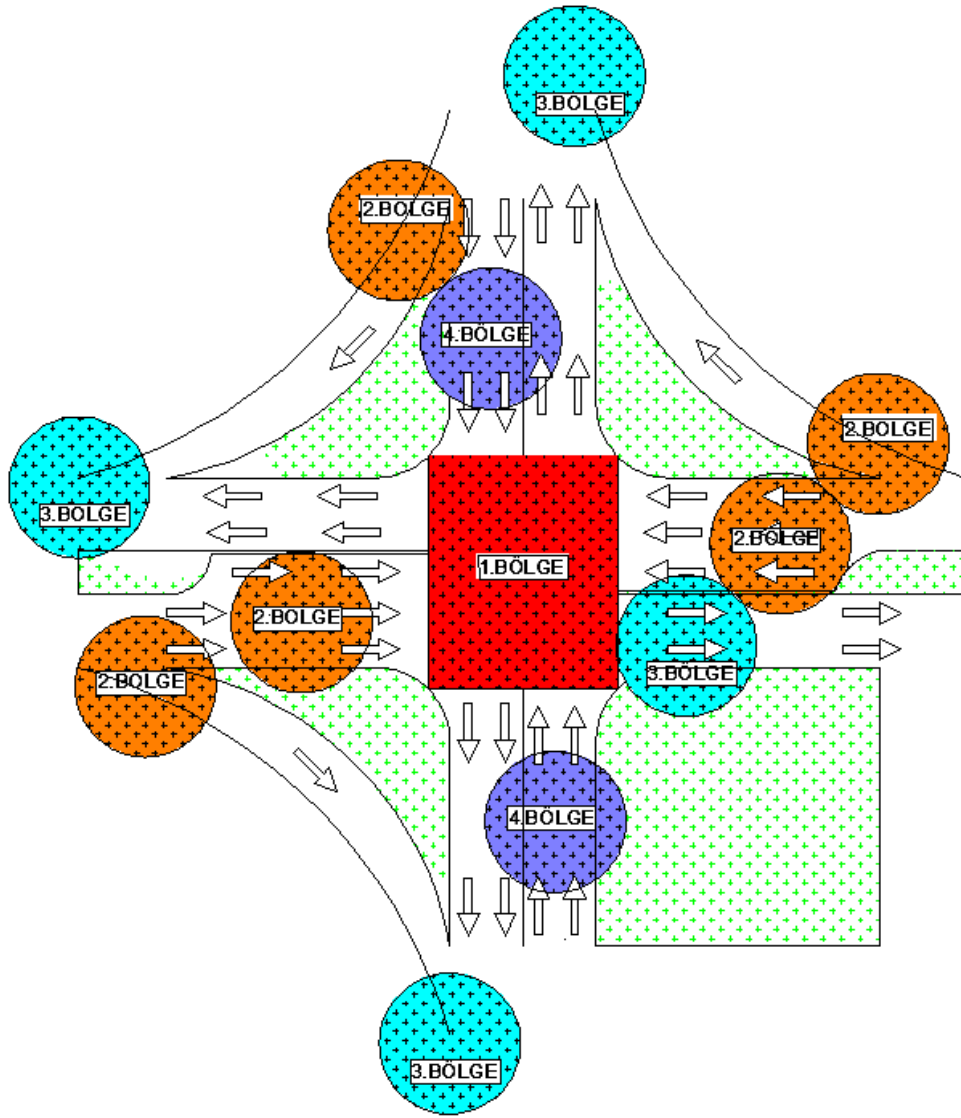
Sinyalize kavşaklar ve güvenlik

Sinyalize kavşaklarda güvenliğin artırılmasında aşağıdaki stratejiler izlenmelidir (Antonucci vd 2004).

- Trafik kontrolü aracılığı ile kavşaktaki çakışmalar azaltarak kaza frekansı ve şiddeti azaltılabilir. Yol hakkı tahsis etme yöntemindeki iyileştirmeler sinyalize kavşaktaki trafik güvenliğini artırır. Örneğin bir kavşak ta sola dönüşün sinyalize ile korumalı bir duruma getirilmesi, çakışmaları azaltır ve güvenliği artırır.

- Geometrik iyileştirmelerle kaza frekansı ve şiddeti azaltılabilir. Geçiş ve dönüş hareketlerini kavşakta ayıran, kısıtlayan veya ortadan kaldıran geometrik tasarımların trafik güvenliğine katkısı olmaktadır.
- Görüş mesafesinin artırılması kazaları azaltıcı etkiye sahiptir. Bir sinyalize kavşakta açık görüş üçgenleri oluşturmak ve kavşak kollarını görüş mesafesini dikkate alarak tasarlamak o kavşağın güvenliğini artırır.
- Sürücünün, kavşaklar ve sinyal kontrolü konusunda farkındalığını artırmak kavşak kazalarını azaltır. Birçok kaza sürücünün veya sürücülerin kavşak yaklaşımını fark etmemesi nedeniyle olur. Bu nedenle kavşak yaklaşımının işaretleme veya aydınlatma yapmak, gelişmiş tanımlama sistemleri kurmak sürücülerin farkındalığını artırır. Bu önlemlerin etkili olmadığı durumlarda sarsma bantları koymak kaza ve şiddetini azaltmakta etkili olur.
- Sürücünün trafik kontrol cihazlarıyla uyumunun sağlanması trafik güvenliğine olumlu katkı sağlar. Sürücülerin trafik kurallarına uymaması ve ışık ihlali yapması kazalara neden olmaktadır. Bu nedenle trafik denetimi yapılması, ceza uygulanması kazaları azaltıcı etki oluşturur.
- Sinyalize kavşakların yaklaşımlarında erişim yönetimini iyileştirilmesi kazaların azaltılmasında olumlu etki yapar. Kavşak yaklaşımlarında sürücülerin karar verme süreci ilave bir iş olması nedeniyle, sürücülerin kafasının karışmasına, sürüş düzenin bozulmasına neden olabilir. Bu durum kavşak yaklaşımlarında ek çakışmalar oluşturur.
- Diğer altyapı uygulamaları yoluyla güvenliğin artırılması. Sinyalize kavşaklarda kazaları azaltmak için kavşaklar yakınında bulunan diğer altyapı uygulamaları iyileştirmelidir.

Yapılan bir çalışmada sinyalize kavşakta olan çarpışmalar, kavşak alanı içerisinde bölgelere ayrılmış, bu bölgelerde olan kazalar incelenmiştir (Polders vd 2015). Çalışmada sinyalize kavşakların hangi bölgelerinde ne tür kazaların meydana geldiği hakkında bilgi verilmiştir. Sinyalize kavşaklarda olan muhtemel kazaların türleri ve olduğu yerler Şekil 6'da belirtilmiştir.



Şekil 6. Sinyalize kavşak kaza bölgeleri

Yine aynı çalışmada sinyalize kavşaklarda 4 baskın çarpışma türü meydana geldiği bildirilmiştir. Bu türler ön-arka, yan, savunmasız yol kullanıcısı kazası ve kafa kafaya çarpışmalardır. Bu çarpışmalardan ön-arka çarpışmaları hariç, diğer çarpışmalar beklenenden şiddetli olur. Bu kazalardan ön-arka çarpışmaları çoğunlukla kavşakların yaklaşımlarında 4. bölge ile gösterilen yerlerde meydana gelir (Şekil 6). Şiddetli çarpışmalar genellikle kavşak kollarının ortak alanı olduğu 1. bölgede meydana gelir (Şekil 6).Savunmasız yol kullanıcıları kazaları genellikle 3. bölge ile gösterilen yerlerde meydana gelir (Şekil 6). Yan ve açılı çarpışmalar ise genellikle kavşak dönüşler için manevra yapıldığı 2. bölge ile gösterilen yerlerde meydana gelir (Şekil 6).

Kaza Tahmin Yöntemleri

Kaza tahmin modeli, örnek bir sahada geçmişte mevcut kaza verileri ile trafik verilerini kullanarak mevcut geometrik ve trafik şartlarında tüm sahada olması beklenen kazaları tahmin

etmek için oluşturulan bir metottur. Trafik güvenliği ile ilgili planlama ve politikaların belirlenmesinde ve ileriye yönelik projelerin geliştirilmesinde kaza tahmin modellerinden yararlanılmaktadır(Abdulhafedh 2017).

Kaza tahmin modellerinde kullanılan yöntemler

Kaza tahmin modelleri birçok farklı yöntem ile hazırlanabilmektedir. Bu modeller temel olarak iki farklı yöntem ile yapılmaktadır. Bunlardan ilki regresyon analizleri kullanılarak yapılırken, diğeri hesaplamalı zekâ teknikleri yardımı ile yapılan modellerdir. Bu modellerin avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Örneğin istatistiksel modeller her ne kadar sağlam ve geniş çapta kabul görmüş sayısal temellere sahip olsalar da; karmaşık ve doğrusal olmayan verileri modellemede düzenli olarak başarısız olurlar (Karlaftis ve Vlahogianni 2011).

Kaza tahmin modellerinin yapıldığı başlıca metotlar aşağıda belirtilmiştir(Sahraci vd 2020)

- 1- Regresyon Modelleri
- 2- Yapay Sinir Ağı
- 3- Rastgele Orman Modeli
- 4- Matematik Ve Olasılıksal Yöntemler
- 5- Mekansal Modeller
- 6- Markov Modeli
- 7- Karar Ağacı Modeli
- 8- Zaman Serileri
- 9- Hibrit Yöntemler
- 10- Sınıflandırma Yöntemleri
- 11- Stokastik Gradyan Arttırılmış Karar Ağaçları
- 12- Genetik Algoritmalar
- 13- Bulanık Model
- 14- Veri Madenciliği
- 15- Gri Sistem Teorisi
- 16- - Bayes Ağı

Kazaların istatistiksel yöntemler ile tahmin edilmesi çalışmalarında çoklu doğrusal regresyon modeller kullanılmıştır (Jovanis ve Chang 1986);(Joshua ve Garber 1990). Ancak geleneksel lineer modeller, negatif değerlere sahip oldukları için kazaları tahmin etmek için uygun değildir. Kaza tahmin modellerinin katsayıları, geleneksel normal en küçük kareler veya

ağırlıklı en küçük kareler regresyonu ile tahmin edilemezler. Çünkü bu modellerin kabulleri, ayrık, negatif olmayan kaza veri değerleri ve trafik akımının artmasıyla kaza sayılarının da artmasının gerçekliliği tarafından ihlal edilmektedir

Poisson regresyon, çoklu lineer regresyon modellerinden daha iyi sonuçlar verir, çünkü kazalar ayrık ve rastgele olaylardır. Bu nedenle kaza analizi için poisson süreci daha uygundur (Haight 1967);(Miaou ve Lum 1993). Kaza tahmin modelleri, kaza frekansını trafik akımının ve diğer yol karakteristiklerinin bir fonksiyonu olarak ifade eden matematiksel eşitliklerdir. Bunun için, kaza tahmin modellerinin katsayıları yaygın olarak genelleştirilmiş lineer modellerden (GLM) yararlanılarak ayarlanan maksimum olabilirlik yöntemi ile tahmin edilmektedir (Lord ve Persaud 2000). Poisson regresyon analizi, kaza verilerindeki aşırı dağılım, küçük örneklem büyüklüğü ve düşük örneklem ortalama değeri nedeniyle iyi sonuçlar vermeyebilir (Lord 2006).

Kaza analizinde poisson ve negatif binom yöntemlerinin kullanımında karşılaşılan problemlerin çözümünde rastgele etkili negatif binom yönteminin kullanılabileceği belirtilmiştir(Chin ve Quddus 2003).

Lord ve Mannering (2010), çalışmalarında kaza frekansı tahmini için belirlenen yöntemde kaza verilerinin aşırı yayılım, yetersiz yayılım, zamanla değişen açıklayıcı değişkenler, küçük örnek ortalaması ve küçük örnek boyutu, kazaların yetersiz raporlanması durumu etkili olduğunu açıklamıştır. Çalışmada kaza tahmininde kullanılan yöntemlerin avantajlarını ve dezavantajlarını tablo halinde anlatmışlardır.

HSM tarafında 2010 yılında kapsamlı bir çalışma ile kaza tahmini modeli sundu. Bu model empirical bayes yöntemi ile hazırlanmıştır.

İstatistiksel yöntemlerle yapılan kaza tahmin modellerinin temel elemanları aşağıda sıralamıştır (HSM, 2010).

- GPF(Güvenlik Performans Fonksiyonu): Belirlenen temel koşullarda bir karayolu bölgesin de oluşması muhtemel kaza sıklığının tahmin eden regresyon denklemidir. Güvenlik performans fonksiyonları için temel koşullar önceden belirlenir. Güvenlik performans fonksiyonlarında bağımlı değişken kaza frekansı olur, bağımsız değişken ise genelde YOGT (Yıllık Ortalam Günlük Trafik) olur. Güvenlik performansı fonksiyonlarının, ilgili segmentteki kazaların temel seviyesini yansıtmasında başka bağımsız değişkenlerde etkili olabilmektedir (Mohammadnazar vd 2022).
- KDF(Kaza Değişim Faktörü): KDF belirli bir sahada belirli bir önlemin uygulanması sonrasında beklenen kaza sayısını hesaplamak için kullanılan çarpımsal faktördür.

KDF' ler ulaşım planlamacıları tarafından kazaları etkileyen değişkenlerin, etki miktarlarını bulmak ve trafik kazalarına etki eden değişkenleri değerlendirmek için kullanılmaktadır.

KDF'lerin bulunması ile ilgili FHWA (Federal Highway Administration) katkılarıyla bir KDF hazırlama rehberi hazırlanmıştır (Gross vd 2010). Bu rehberde KDF lerin hesaplanmasında kullanılan yöntemler belirtilmiştir. Shahdah vd (2014) çalışmalarında alternatif bir KDF elde etme yöntemi anlatılmıştır. Çalışmada Toronto'daki kavşaklar örnek olarak kullanılmıştır.

KDF'leri tahmin etme gücü tartışma konusudur (Noland ve Adediji 2018);(Shahdah et al. 2014). KDF 'lerin kesinliği için kaza verilerinin uzun dönem olması önemlidir. Kaza verilerinin kısa dönem olması kazaların doğasındaki rastgelelik nedeniyle sonuçlar güvenilir olmayabilir. Kazaları etkileyen değişkenler için KDF oluşturulurken nedensel bir bakış açısı ile araştırma yapılmalıdır. Wu ve Lord (2017), KDF geliştirmek için link fonksiyonunu yanlış belirlemede geleneksel regresyon modellerinin etkisi incelenmişlerdir. Çalışmada hangi durumlarda KDF lerin yanlış sonuç vereceği açıklanmıştır. Wang vd (2017)'de sinyalizasyon ve durma kontrollü kavşaklarda KDF güvenilirliği incelenmiştir. Çalışmada empirical bayes yöntemi kullanılmıştır.

Birçok araştırmacı kazalara etki eden değişkenler için KDF değeri veya fonksiyonu araştırmıştır. Bir çalışmada yol bariyerlerinin kazalara etkisi için KDF araştırması yapılmıştır (Zou ve Tarko 2018). Kırsal Yollarda bulunan kavşakları çarpıklık açısı için KDF fonksiyonu araştırılmıştır (Ingle ve Gates 2023).Dönel kavşaklarda, cross sectional yöntem kullanılarak KDF araştırılmıştır (Al-Marafi vd 2018). Kavşakların geometrik ve işletme koşulları için KDF araştırması yapılmıştır (Al-Marafi vd 2021).Otoyol rampaları için KDF ve SPF araştırması yapılmıştır (Choi vd 2018).

- Kalibrasyon Faktörü: Bir kaza tahmin modelinin bir başka bölgede kazaları tahmin etme becerisi olmayabilir. Bu durumda HSM de kalibrasyon faktörü tanımlanmıştır. Bir tahmin modelinin, bir başka bölgedeki kazaları tahmin etmesine GPF için kalibrasyon hesaplanabilir (Farid vd 2018).

Gomes vd (2012) Portekiz 'de bulunan kentsel kavşaklara kaza tahmin modeli oluşturmuşlardır. Çalışmada poisson gama yöntemi kullanılmıştır. Cheng vd (2013) motorlu taşıt kazalarının analizinde, poisson weibull genelleştirilmiş lineer modelin, kullanılabilirliği incelemişlerdir. Çalışmada poisson gama ve poisson weibull yöntemleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda poisson weibull modelinin poisson gama modeline iyi bir alternatif

olabileceği belirlenmiştir. Shaik ve Hossain (2019), Khulna şehrinde poisson regresyon analiz yöntemini kullanarak bir kaza tahmin modeli yapmışlardır. Stapleton vd (2019), iki şeritli kırsal yollardaki düşük hacimli kavşaklar için GPF araştırmışlardır. Çalışmada negatif binom analiz yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonuçları HSM'deki modellerle karşılaştırılmıştır. Khattak vd (2021), kent içi kavşaklarda üç adet negatif binom model ve bir adet genelleştirilmiş poisson regresyon model ile kaza tahmin modeli oluşturmuşlardır. Çalışma sonucunda negatif binom model sinyalize kavşaklarda ve genelleştirilmiş poisson model ise sinyalize olmayan kavşaklarda, diğer modellere göre daha iyi sonuç vermiştir. Kronprasert vd (2021), poisson regresyonu ve negatif binom analizi yardımıyla kaza sıklığını tahmin etmek için bir model geliştirdi. Geliştirilen model, HSM'de önerilen tahmin modeli ile karşılaştırılmıştır.

Sinyalize kavşaklarda yapılmış kaza tahmin modelleri

Lyon vd (2005), Kanada'nın Toronto şehrinde bulunan kavşaklardaki kaza ve trafik verilerini kullanarak bir kaza tahmin modeli oluşturmuşlardır. Bauer ve Harwood (2000), kent içi sinyalize kavşaklarda meydana gelen şiddetli kazalar için, kavşakların geometrik ve işletme özellikleri kullanarak bir model geliştirmişlerdir. McGee vd (2003) Kanada ve ABD'deki bazı eyaletlerde kent içi sinyalize kavşaklarda meydana gelen şiddetli kazaların frekansını tahmin eden bir başka model geliştirmişlerdir.

AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) tarafından 2010 yılında yayınlanan HSM'de kapsamlı kaza tahmin modelleri yapılmıştır. Bu çalışmada kavşaklar için yapılan modellerde, banliyö ve kent içi yollardaki kavşakları birlikte değerlendirilirken, kırsal yollardaki kavşaklar ayrı değerlendirilmiştir. Kavşaklar için hazırlanan kaza tahmin modelleri kol sayısına, kaza şiddetine, kazaya karışan araç sayısına ve trafik kontrol tipine göre de gruplandırılmıştır. HSM'deki kaza tahmin modellerinde empirical bayes yöntemi kullanılarak, her kategori için GPF'ler hesaplanmıştır. Bu fonksiyonlarda kaza frekansı, ana yol YOGT ve tali yol YOGT bulunmaktadır. HSM'de, bazı değişkenlerin kaza frekansına etkisini modele yansıtabilmek için KDF kullanılmıştır. HSM ayrıca hazırlanan GPF'lere benzer segmentteki başka bölgelere uygulanabilmesi için bir kalibrasyon faktörü de tanımlamıştır (HSM 2010).

Kaza tahmin modellerinde kullanılan değişkenler

Kaza analizlerinde bağımlı değişken olarak kaza frekansı miktarındaki veya kaza şiddetindeki değişim araştırma konusu olmaktadır. Burada araştırmacılar kazaların sayısını azaltmak ve olması muhtemel kazaların şiddetinin düşürülmesi durumunu inceleyerek yol güvenliğine katkı sağlamaya çalışırlar.

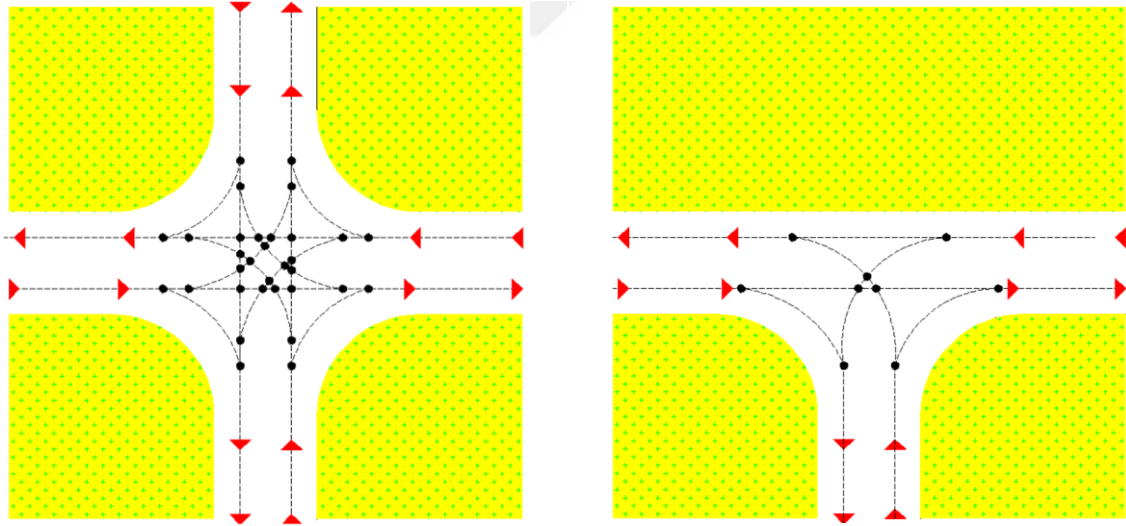
Kaza tahmin modellerinin en önemli bağımsız değişkeni YOGT'dir (Chen ve Xie 2016). Kazalar ile trafik sayısı arasında doğrusal olmayan bir ilişki vardır. Bu ilişki yol ağını kullanan araç sayısının artması ile genel olarak kaza sayısının da farklı bir oranda artması beklenir. Ancak bu oran yol ağının her yerinde aynı olmaz.

Kaza tahmin modellerinde sadece trafik miktarının değil, trafik akım özelliklerinin farklılık gösterdiği kentsel, banliyö, kırsal yol ağlarında ayrı ayrı değerlendirilir.

Sinyalize kavşaklarda anayol ve tali yol kollarına ait YOGT'lerin doğal logaritması ile kaza frekansları arasında doğrusal olmayan bir ilişki vardır (Chen ve Xie 2016). Literatürdeki birçok kaza tahmin modellerinde trafiği temsil eden değişkenler anayol, tali yol ayrımı yapılarak model değişkeni olarak kullanılmıştır (Dong vd 2016).

Kaza tahmin modellerinde YOGT yerine kavşağa giriş yapan yıllık ortalama günlük toplam araç sayısı değişken olarak tercih edilebilir (HSM 2010).

Kavşak kol sayısı kazaları etkileyen önemli bir faktördür. Bunun en önemli nedeni kavşak kol sayılarının artması, çakışmaların artmasına neden olmasıdır. Örneğin 3 kollu kavşakta 9 adet çakışma meydana gelirken, dört kollu kavşakta 32 adet çakışma meydana gelmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Dört kollu ve üç kollu kavşaklardaki çakışma sayısı

Bir dört kollu kavşağın iki adet üç kollü kavşağa dönüştürülmesinin kazaları azaltabileceği bilinmektedir (Elvik vd 2009). İki adet üç kollü kavşakta 18, bir adet dört kollü kavşakta ise 32 adet çakışma vardır. Çakışmaların artması veya azalması kavşaktaki kaza risk durumunu etkiler.

HSM de tanımlanan kavşak fonksiyonel alanı içerisinde meydana gelen kazalar kavşak kazası olarak tanımlanır. Kavşak fonksiyonel alanı ve elemanları Şekil 8’de belirtildi. Kavşak fonksiyonel alanı akım hızına ve kuyruk oluşumuna bağlı olarak değişir. Bazı kurumlar bu mesafeyi kavşak merkezinden 76,2 m (250 ft) olarak kabul eder (HSM 2010).



Boyuna eğimin kazalar üzerinde olumsuz etkisi vardır(Shafabakhsh ve Sajed 2015). Kırsal yollarda kavşaklarda yapılan bir çalışmada iniş eğimli kavşaklar yüksek kaza potansiyeline sahip olduğu görüldü (Pickering, 1986). Yine kırsal yollardaki kavşaklarda yapılan bir çalışmada, görüşün kısıtlı olduğu düşey kurbalarda yer alan kavşaklarda kaza oranlarının yüksek olduğu belirlendi (Fambro vd 1989);(Saphioğlu 2010).

Elvik (1995) , kentsel alanda bulunan sinyalizasyon kavşaklarında aydınlatmanın kazalar üzerindeki etkisini inceledi ve öncesi sonrası karşılaştırılması yapıldı. Kentsel alanda bulunan sinyalizasyon kavşaklarında sola dönüş şeritleri ile sağa dönüş şeritlerinin kazalar üzerindeki etkisi

hesaplandı (Harwood vd 2002). Clark vd (1983), yaptıkları bir çalışmada kırmızı ışıktaki sağa dönüşü izin verilmesinin kazalar üzerindeki etkisi belirlendi.

Kaza Analizlerinde İncelenen Değişkenler ve Yöntemler

Literatürde kaza analiz çalışmalarında farklı yöntem ve değişkenler kullanılarak kazaya etki eden faktörlerin etkileri incelenmiştir. Bu değişkenler arasında bağımlı değişkenler olarak kaza frekansı veya kaza şiddeti ile çok farklı bağımsız değişkenlerin etkileri araştırılmıştır.

Abdel-Aty ve Radwan (2000), Florida’ da 1992-1994 yılları arasında meydana gelen kazaları incelemişlerdir. Çalışmada negatif binom analiz yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda sürücülerin demografik özellikleri ile diğer değişkenlerin kazalar üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Kumara ve Chin (2005), üç kollu sinyalizasyon kavşaklarında kaza frekansına etki eden değişkenleri incelemişlerdir. Çalışmada poisson eksik raporlama yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada bağımlı değişken olarak kaza frekansı, bağımsız değişkenler ise; YOGT, görüş mesafesi, sola dönüş şeridi uzunluğu, yaklaşan şerit sayısı, orta refüj genişliği, boyuna eğim, yatay kurb, sola dönüş ve sağa dönüş şeridi varlığı, sinyalizasyon özellikleri, orta refüjde engel, gözetleme kamerası, hukuki yaptırım, konut bölgesi değişkenleri seçilmiştir. Wong vd (2007), Honkong’taki sinyalizasyon kavşaklarında meydana gelen trafik kazalarında etkili olan faktörleri incelemişlerdir. Çalışmada, negatif binom ve poisson regresyon yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada bağımlı değişken olarak iki kategorili kaza şiddeti, bağımsız değişken olarak ise; YOGT, sinyalizasyon özellikleri, ticari araç oranı, ortalama dönüş yarıçapı, şerit genişliği, şerit sayısı, yaklaşım kolu sayısı, çatışma noktalarının sayısı, yaya geçidi sayısı, tramvay duraklarının varlığı, kavşağın Honkong’ta bulunduğu konum değişkenleri belirlenmiştir. Venkataramana vd (2013) kaza şiddeti, kazaya karışan araç sayısı, kazanın oluş şekli ve lokasyon değişkenleri rastgele parametrelili negatif binom model ile incelenmişlerdir. Xu vd (2014), sinyalizasyon kavşaklarında kazaları etkileyen değişkenleri incelemişlerdir. Çalışmada negatif binom analiz yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda köşe açıklığı uzunluğu, trafik hacmi, arazi kullanım türü, ana caddeler için sola dönüş şeritlerinin sayısı, ana caddelerdeki şerit sayısı, hız sınırı ve kavşak kol eğimi ile kazalar arasında anlamlı ilişkiler olduğu belirlenmiştir. Roshandeh vd (2016), karayolu kavşaklarındaki toplam kaza frekansının istatistiksel modellemesini yapmışlardır. Çalışmada poisson regresyon yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda akşam zirve saat trafik hacmi, kaplama durumu ve ışısız kavşakların çarpışma frekansları üzerinde önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Dong vd (2016), kavşak kaza frekanslarını etkileyen değişkenler incelenmiştir. Çalışmada bağımlı değişken, dört kademeli kaza şiddetidir. Bağımsız değişkenler ise YOGT, ağır taşıt %, şerit genişlikleri, banket genişlikleri, sola dönüş şeritleri, hız sınırları ve kolların kesişme açısı olarak belirlenmiştir.

Nightingale vd (2017), yüksek hızlı kırsal yollarda bulunan kavşak kazalarında, çarpıklık açısının kaza frekansına etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, 90 derecelik bir kavşaktan her 10 derece sapma için üç kollu kavşaklarda %3, dört kollu kavşaklarda ise %4 daha fazla kaza meydana geldiği belirlenmiştir. Hosseinpour vd (2018), çoklu araçlı çarpışmalar için kaza frekansı tahmin modeli oluşturmuşlardır. Çalışmada çok değişkenli poisson log normal ile tek değişkenli poisson log normal yöntemleri kullanmışlardır. Çalışma sonucunda iki modelin karşılaştırmasını yapmışlardır. Kumfer vd (2019), kavşak açısının kavşak güvenliği performansı üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Çalışma sonunda 50 ile 65 derece arasında en yüksek çarpışma frekansının olduğu belirlenmiştir. Alvarez vd (2020), tek araçlı yoldan çıkma kazalarında yol geometrik özelliklerinin etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonunda tek araçlı kazalar için kent içi yol kesimlerinde kavşaklar ve yatay kurbpların beraber olduğu yerlerde 5 kat, 500 m'den daha fazla düzlüğün olduğu yerlerde de 9 kat daha fazla kaza oranı olduğu belirlenmiştir. Chiou vd (2020), iki araçlı kaza analizlerinde genelleştirilmiş tahmin eşitliği modelinin kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Ozen (2020), Mersin ilinde belirlenen sinyalize kavşaklarda, 2014-2016 zaman aralığında meydana gelen kazaları incelemiştir. Çalışmada, poisson regresyon analizi ve negatif binom analizi yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada kavşaklarda orta refüj, hız limiti, birincil ve ikincil kavşak kollarındaki trafik, yaklaşan şerit sayısı, sinyalize ve diğer değişkenlerin kaza frekansına etkisi belirlenmiştir. Nasarrudin ve Razelan (2018) , 2010-2015 yılları arasında Malezya da bulunan üç ve dört kollu sinyalize kavşakların yıllık kaza verilerini incelemişlerdir. Islam vd (2020), gelişmekte olan ülkelerde, kent içi sinyalize kavşakların geometrik olmayan özelliklerinin kazalar üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışmada, empirical bayes yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda özellikle cadde üstü park ve kavşak yakınındaki tesislerin sayısının kazalara etkisi olduğu belirlenmiştir. Mitra ve Bhowmick (2020), Kolkata'da bulunan sinyalize kavşakların kaza risk analizi yapmışlardır. Çalışmada negatif binom, binary lojistik ve korelasyon yöntemleri kullanılarak, değişkenlerin kaza ve kaza şiddeti ile ilişkileri incelenmiştir. Park vd (2020) kavşak kazalarını tahmin eden bir model geliştirmişlerdir. Çalışmada çoklu üyelik çok seviyeli model kullanılmıştır. Çalışma sonucunda anayol YOGT, dört kollu kavşaklar, trafik sinyalleri, hız, genç sürücüler, farklı arazi kullanımı kazalara etkili olan önemli değişkenler olduğu belirlenmiştir.

MATERYAL METOT

Materyal

Çalışma amacı doğrultusunda oluşturulacak kaza tahmin modeli için, Erzurum ili kentsel alanında bulunan sinyalize kavşaklar, çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bu çalışma alanının sınırları Şekil 9’de belirtilmiştir. Bu alanda yer alan sinyalize kavşakların en az bir kolu bölünmüş yoldur. Bu bölgede yolların hizmet seviyesi, zirve saatlerde D, E, F seviyesindedir. Sabah ve akşam zirve saatlerinde yol ağının bazı noktalarında, tıkanmalar oluşmaktadır. Zirve saatler dışında trafik akıcıdır. Çalışma alanı, ticari ve iş alanlarının bulunduğu şehrin cazibe merkezidir. Şehrin tarihi yapıları da bu alanda bulunmaktadır. Bu bölgedeki yapılaşma genelde bitişik düzende ve çok katlıdır.



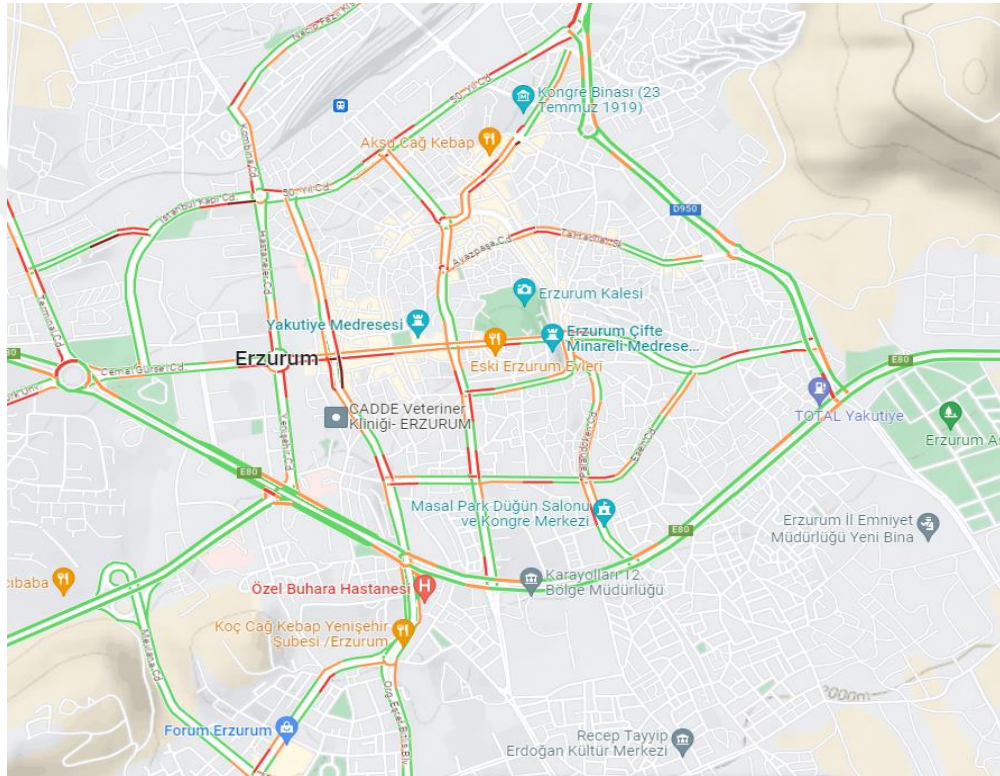
Şekil 9. Erzurum şehir merkezindeki çalışma alanı

Şekil 9’da gösterilen alan üzerinde bulunan ana arterlerde yer alan toplam 30 adet sinyalize kavşak bulunmaktadır. Bu çalışmada 14 adet sinyalize kavşak örnek seçilmiştir. Kavşaklar kentsel alanı kaplayacak şekilde rastgele seçilmiştir.

Seçilen sinyalize kavşakların orta refüj, şerit, iç banket ve dış banket genişliklerinde bir standart bulunmamaktadır. Sadece şerit genişlikleri 3-3,5 m arasında değişmekte olup, diğer geometrik özelliklere nazaran standartlara yakındır. Kavşaklarda dönüş şeritleri genelde sonradan ilave edilmiştir. Birçok kavşak da dönüş şeritlerinin ayrılma ve katılma geometrileri, herhangi bir analiz veya hesaplama göre yapılmamıştır. Bunun nedeni mevcut yapılaşmadan

kaynaklanmaktadır. Bu çalışma alanında bulunan sinyalizasyon kavşakları, oluşan ihtiyaç ve gelişen trafiğe göre geçmişten günümüze şekillenmiştir. Kentin tarihi, sosyal ve ekonomik merkezi konumunda olan bu bölgede, kavşakları standartlara göre düzenlemek için önemli bir bütçeye ve zamana ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada seçilen kavşakların bulunduğu yol ağı Şekil 10'da belirtilmiştir. Seçilen kavşaklarda çalışma zamanı aralığında kavşak geometrisinde herhangi bir değişim olmamıştır. Çalışma kapsamında, kavşakların konum ve geometrik özelliklerini dikkate alarak 2008-2017 yılları periyodunda ortalama kaza frekans verileri ile bir kaza tahmin modeli oluşturuldu.



Şekil 10. Çalışma alanının bulunduğu kentsel yol ağı

Örnek kavşakları listesi aşağıda sunulmuştur.

Tablo 1. Örnek Kavşaklar Listesi

Kavşak No	Zirve Saatlerdeki Hizmet Seviyesi (2012)
1	F
2	E
3	D
4	C
5	E
6	B
7	C
8	E

Tablo 1. (Devamı)

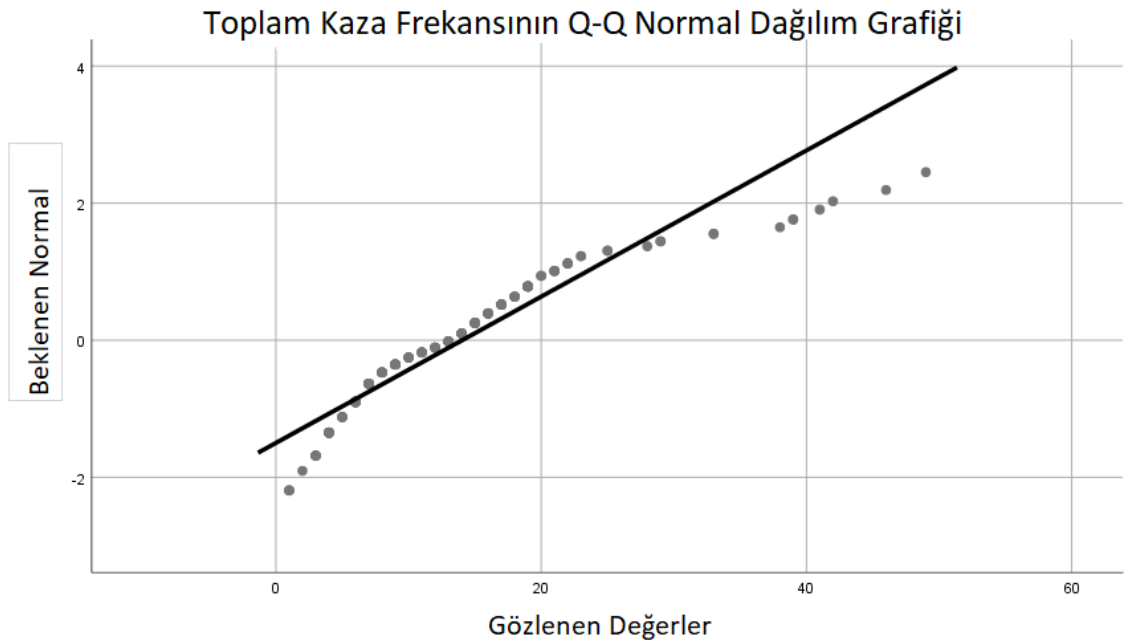
9	D
10	F
11	F
12	C
13	C
14	E

Kaza verileri

Bu çalışmada kullanılan kaza verileri Erzurum İl Emniyet Müdürlüğünden temin edildi. Erzurum’da 2008-2017 yılları arasında örnek kavşaklarda toplam 1966 kaza meydana gelmiştir. Bu kazaların 453 âdeti şiddetli kazalar ve 1513 âdeti ise maddi hasarlı kazalardır. Oluşturulan modelde toplam kaza, maddi hasarlı kaza ve şiddetli kaza frekansları, bağımlı değişken olarak atandı.

Bu çalışmada verilerin elde edildiği kaza istatistiklerinde araç-arac, araç-yaya, araç-bisiklet olarak gruplandırılmamıştır. Bundan dolayı çalışmadaki toplam kaza frekansı değişkeni kavşakta meydana gelen araç-arac, araç-yaya ve araç-bisiklet kazalarının toplamıdır.

Çalışma sahasında kavşaklara ait kaza verilerinin dağılımı, normal dağılıma yakınlığı Q-Q test grafiği ile test edildi (Wilk ve Gnanadesikan 1968). Toplam kaza frekansı verilerine ait normal Q-Q test grafiği Şekil 11’de belirtilmiştir. Q-Q plot normal dağılım grafiğini, 10 yılda 14 kavşakta meydana gelen 140 adet toplam kaza frekansı değeri girilerek elde edildi.

**Şekil 11.** Q-Q normal dağılım grafiği

Kaza verilerinin genel dağılımı

Çalışma sahasında 2008-2017 yılları arasında meydana gelen 1966 kazanın dağılımı Tablo 2’de belirtildi.

Tablo 2. Kazaların Gün Durumu/Tekli-Çoklu/Yüzey Durumu Dağılımı

	Gün Durumu		Kazaya Karışan Araç Sayısı		Yol Yüzey Durumu		Kaza Şiddeti	
	Gündüz	Gece	Tekli	Çoklu	Kuru	Islak	Maddi Hasarlı	Ciddi
Kaza Sayısı	1313	653	462	1504	807	431	1513	453
Yüzde(%)	66,8	33,2	23,5	76,5	65,2	34,8	77,0	23,0

Tablo 3. Kazaların Hafta İçi Dağılımı

Kaza Günü	Kaza Sayısı	Yüzde (%)
Pazartesi	297	15,1
Salı	293	14,9
Çarşamba	275	14,0
Perşembe	286	14,5
Cuma	322	16,4
Cumartesi	247	12,6
Pazar	246	12,5
Toplam	1966	100

Tablo 4. Kazaların Yıl İçi Dağılımı

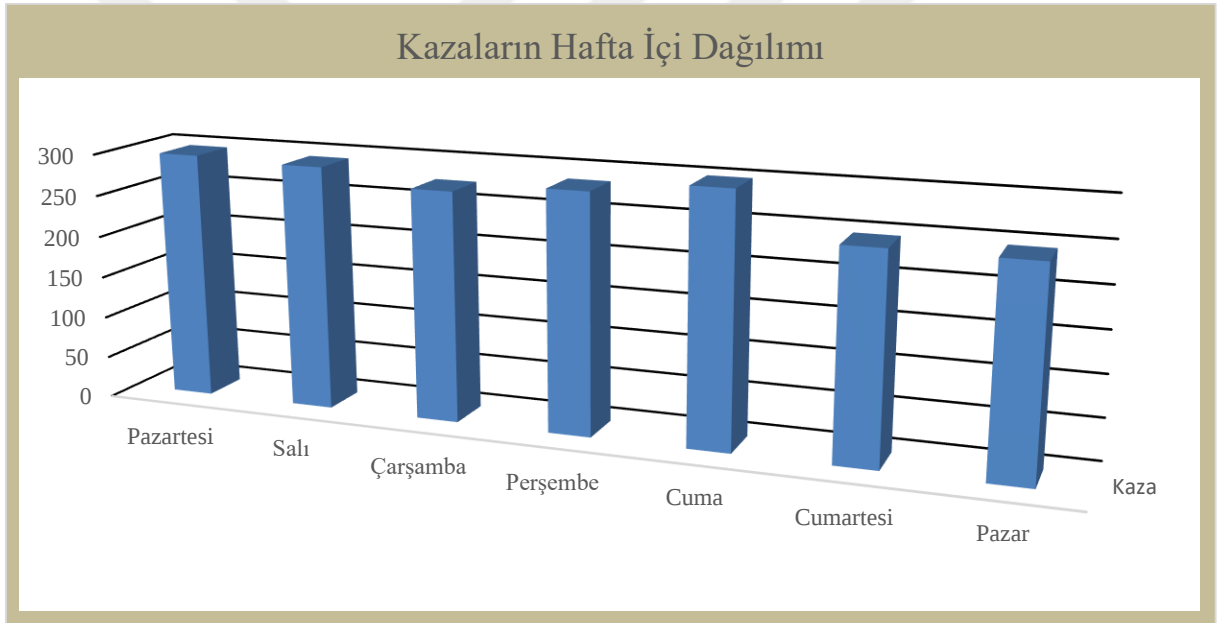
Kaza Ayı	Kaza Sayısı	Yüzde (%)
Ocak	194	9,9
Şubat	160	8,1
Mart	177	9,0
Nisan	141	7,2
Mayıs	133	6,8
Haziran	165	8,4
Temmuz	180	9,2
Ağustos	189	9,6
Eylül	186	9,5
Ekim	174	8,9
Kasım	121	6,2
Aralık	146	7,4
Toplam	1966	100

Tablo 5. Kazaların Gün İçi Dağılımı

Kaza Saati	Kaza Sayısı	Yüzde (%)
24:01-01:00	70	3,6
01:01-02:00	36	1,8
02:01-03:00	19	1,0
03:01-04:00	16	0,8
04:01-05:00	11	0,6
05:01-06:00	13	0,7
06:01-07:00	34	1,7
07:01-08:00	49	2,5
08:01-09:00	111	5,6
09:01-10:00	93	4,7
10:01-11:00	122	6,2
11:01-12:00	94	4,8
12:01-13:00	114	5,8
13:01-14:00	138	7,0
14:01-15:00	133	6,8
15:01-16:00	149	7,6
16:01-17:00	129	6,6
17:01-18:00	137	7,0
18:01-19:00	104	5,3
19:01-20:00	89	4,5
20:01-21:00	72	3,7
21:01-22:00	75	3,8
22:01-23:00	68	3,5
23:01-24:00	90	4,6
Toplam	1966	100

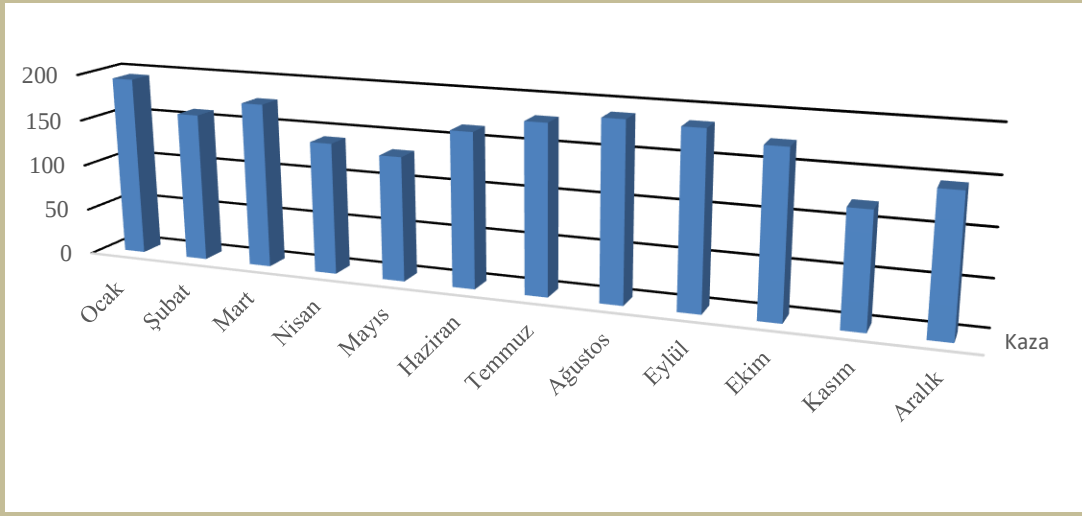


Şekil 12. Kazaların gün içindeki dağılımı



Şekil 13. Kazaların hafta içindeki dağılımı

Kazaların Yıl İçerisinde Dağılımı



Şekil 14. Kazaların yıl içindeki dağılımı

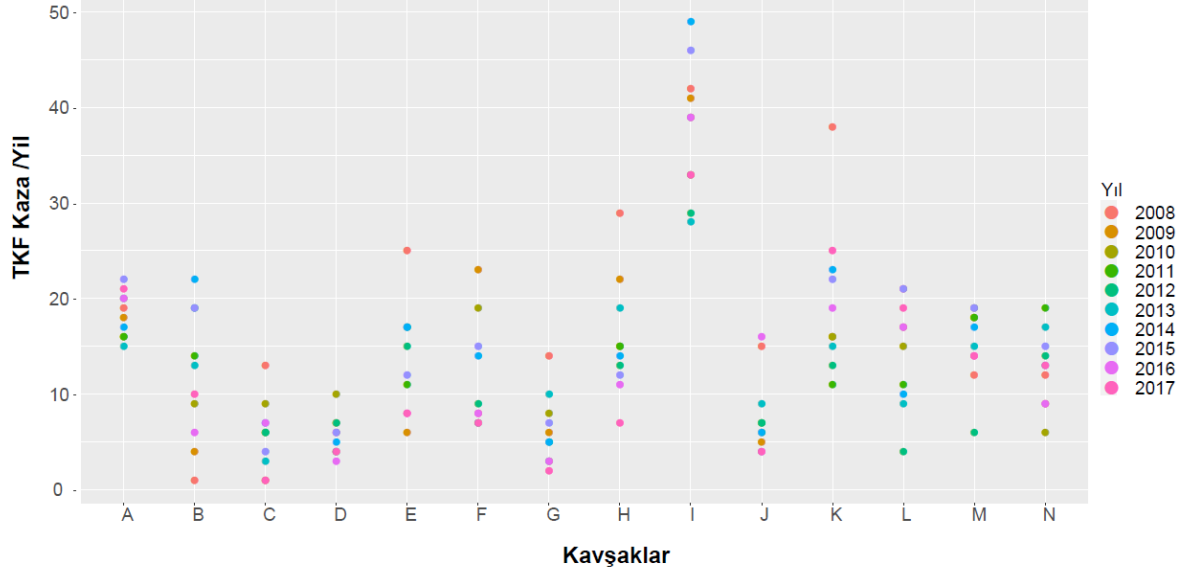
Değişkenler

Tablo 6. Kaza Tahmin Modelinde Kullanılan Değişkenler

DEĞİŞKENLER	BİRİM	DEĞİŞKENİN TÜRÜ	AÇIKLAMA
TKF (Toplam Kaza Frekansı)	kaza/yıl	Bağımlı Değişken	Bir yıl içerisinde meydana gelen ölümlü, yaralanmalı ve maddi hasarlı tüm kazaların sayısı
MHKF (Maddi Hasarlı Kaza Frekansı)	kaza/yıl	Bağımlı Değişken	Bir yıl içerisinde meydana gelen maddi hasarlı tüm kazaların sayısı
ŞKF(Şiddetli Kaza Frekansı)	kaza/yıl	Bağımlı Değişken	Bir yıl içerisinde meydana gelen ölümlü, yaralanmalı tüm kazaların sayısı
KGYS(Kavşağa Giriş Yapan Araç Sayısı)	birim oto/gün	Bağımsız Değişken	Bir yılda ortalama günde kavşağa giriş yapan birim oto cinsinden taşıt sayısı
YOGT Tali	birim oto/gün	Bağımsız Değişken	Kavşağın tali koluna ait YOGT değeri
KGYS (Kavşağa Giriş Yapan Şerit Sayısı)	adet	Bağımsız Değişken	Kavşağa giriş yapan şeritlerin toplam sayısı
ÖSKEYM (Önceki-Sonraki Kavşağa En Yakın Mesafe)	m	Bağımsız Değişken	En yakın komşu kavşağa olan mesafe
NEKT(Negatif Eğimli Kolların Toplamı)	eğim	Bağımsız Değişken	Kavşağın merkez kotundan daha düşük kota giden kollara ait eğimlerin yüzde değerlerinin toplamı (tanjant değeri)
KKAMYA (Kavşak Kolları Arasındaki Maksimum Yatay Açısı)	derece	Bağımsız Değişken	Kavşağın yatay geometrisinde kollar arasında oluşan açının en büyüğü
DF (Diğer Faktörler)	adet	Bağımsız Değişken	Kavşağın fonksiyonel alanı içerisinde tesis bağlantısı sayısı

TKF (Toplam Kaza Frekansı)

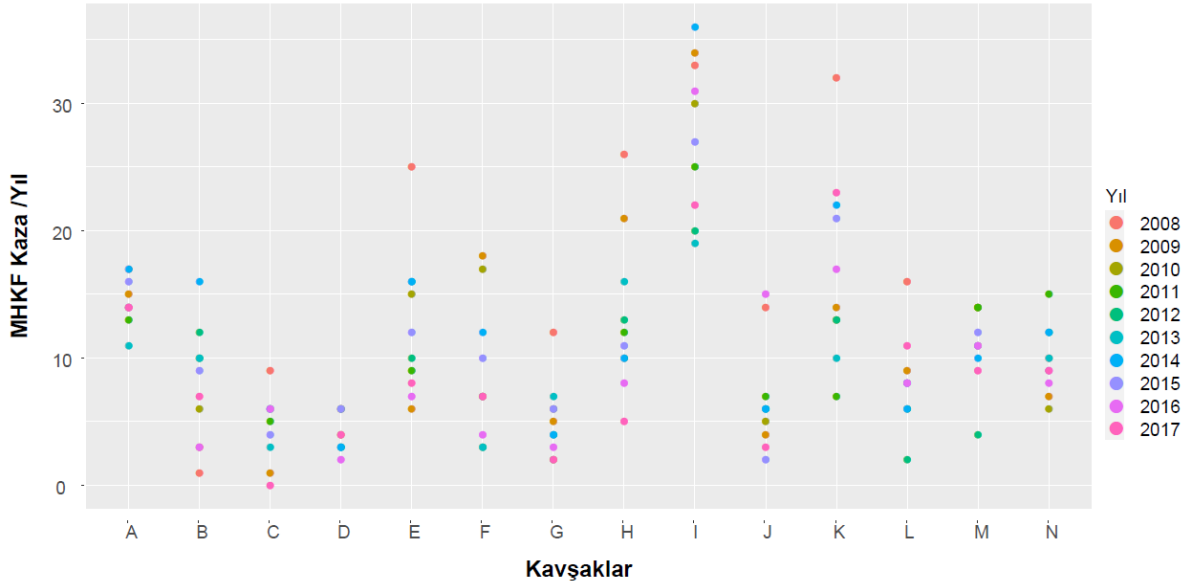
Çalışma sahasında 2008-2017 yılları arasında, meydana gelen 1966 kaza verilerine ait saçılım grafiği aşağıdadır.



Şekil 15. TKF saçılım grafiği

MHKF (Maddi Hasarlı Kaza Frekansı)

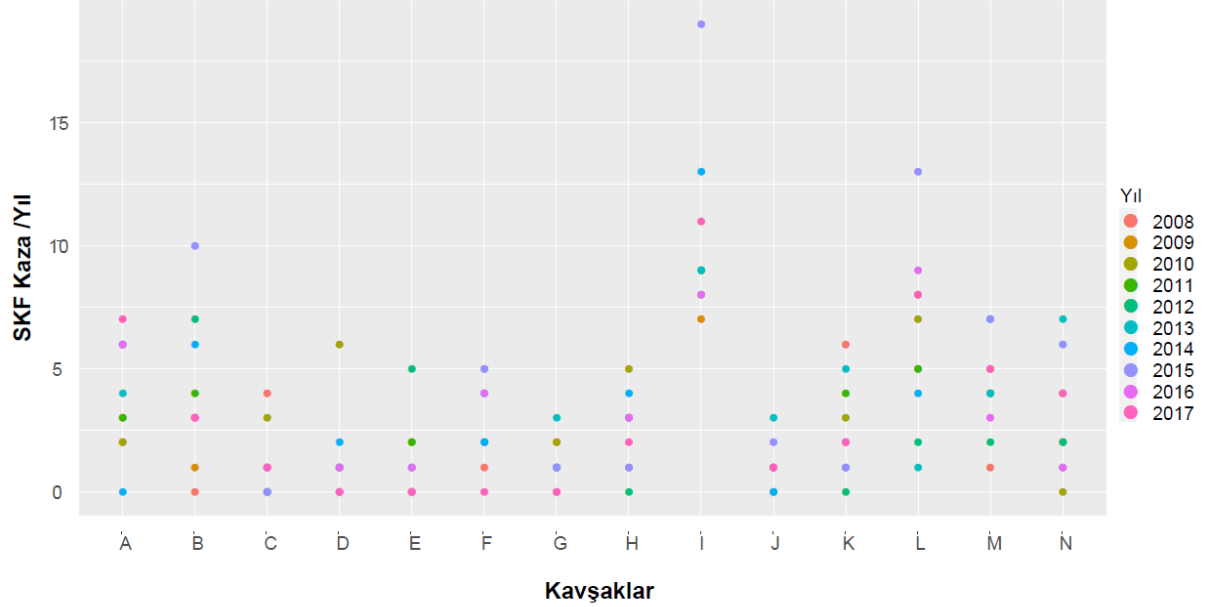
Çalışma sahasında 2008-2017 yılları arasında, meydana gelen 1513 maddi hasarlı kaza verilerine ait saçılım grafiği aşağıdadır.



Şekil 16. MHKF saçılım grafiği

ŞKF (Şiddetli Kaza Frekansı)

Çalışma sahasında 2008-2017 yılları arasında, meydana gelen 453 şiddetli kaza verilerine ait saçılım grafiği aşağıdadır.



Şekil 17. ŞKF saçılım grafiği

KGYAS (Kavşağa Giriş Yapan Araç Sayısı)

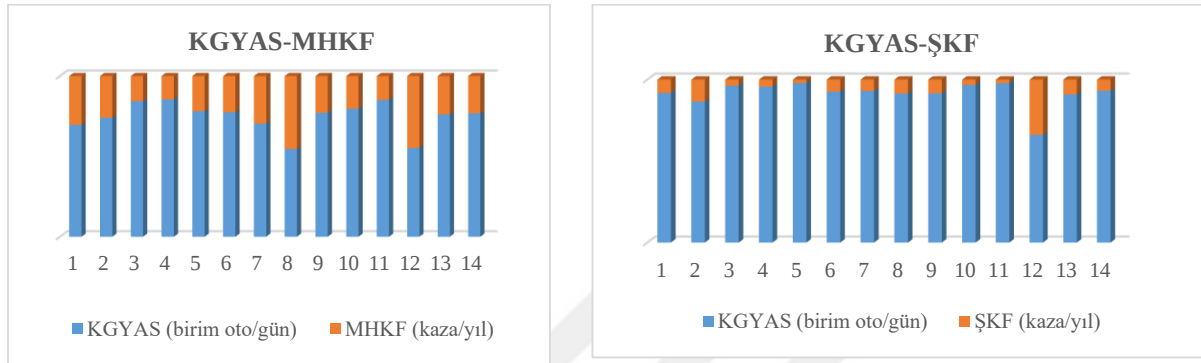
Çalışma alanında bulunan sinyalize kavşaklarda, dönüş trafiğindeki değişkenlikler ve kavşak kollarının platform genişliği ile trafik miktarında uyumsuzluklar bulunmaktadır. Bazı kavşaklarda geometrik olarak anayol olması beklenen kavşak kollarında bulunan trafik miktarı, tali yol trafiğinden daha azdır. Ayrıca gün içerisinde de kavşaklardaki trafik dağılımı farklılık gösterebilmektedir. Sabah saatlerinde yoğun olan kavşak trafik akım rotaları, akşam saatlerinde farklı olabilmektedir.

Bu çalışma sahasında yapılan analizlerde kavşağa giriş yapan araç sayısı, kazalarla anlamlı bir ilişkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Yapılan model denemeleri sonucunda temel bileşenler analizinde 1. faktör grubunda yer alan KGYAS, model değişkeni olarak seçilmiştir.

Erzurum Büyükşehir Belediyesi tarafından 2012 yılında yaptırılan ulaşım etütlerinden, kavşaklara ait zirve saatlik trafik sayıları alınmıştır. Bu veriler $k=0,12$ katsayısı kullanılarak YOGT ye çevrilmiştir (Tunç 2003). 2012 yılının YOGT leri, KGM (Karayolları Genel Müdürlüğü) 'nin 2008-2017 yılları arasında, çalışma alanın içinde ve yakınında yayınlamış olduğu ölçümlerdeki artış ve azalış oranları kullanılarak 2008-2017 arasındaki YOGT ler hesaplanmıştır. Hesaplanan YOGT'ler KGM sorumluluğunda bulunan ve aynı zamanda örnek

kavşaklar arasında olan 3 kavşağın ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda farkların kabul edilebilir olduğu görülmüştür.

Şekil 18’de görüldüğü gibi KGYAS değerinin artması ile kazalar aynı oranda artış göstermemiştir. Bu grafikten de anlaşılabileceği üzere MHKF’de, 11 nolu kavşak, KGYAS değerine göre en az kaza olan kavşak tır. 8 nolu kavşak ise KGYAS miktarına göre en fazla kaza olan kavşaktır.

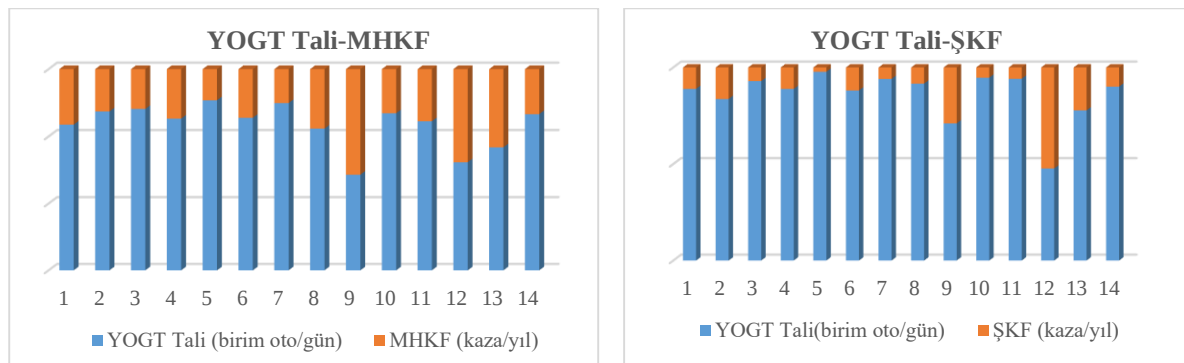


Şekil 18. KGYAS kaza frekanslarındaki değişim

ŞKF ile MHKF’ nin, KGYAS değişkeninin etkisi farklıdır. Örneğin 8 nolu kavşak, şiddetli kazalar, KGYAS değerine göre maddi hasarlı kazalardan daha az meydana gelmektedir.

YOGT Tali

Bu değişken yapılan analizler sonucunda şiddetli kazalar üzerinde ters yönlü bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonunda oluşturulan modelde bağımsız değişken olarak tanımlanmıştır. Bu değişken daha az trafik miktarına sahip hat tali yol olarak değerlendirilmiştir. Bu hat iki kol ise ortalama YOGT’si alınmıştır. Şayet tek ise ilgili hattın YOGT si alınmıştır.



Şekil 19. YOGT Tali kaza frekanslarındaki değişim

Şekil 19'dan anlaşılacağı üzere YOGT tali değerine göre en fazla kaza olan kavşaklar, maddi hasarlı kazalar için 12 ve 9 nolu kavşaklar, şiddetli kazalar için ise 12 nolu kavşaklardır. YOGT Tali değerine göre en az kaza olan kavşaklar ise 5 nolu kavşaktır.

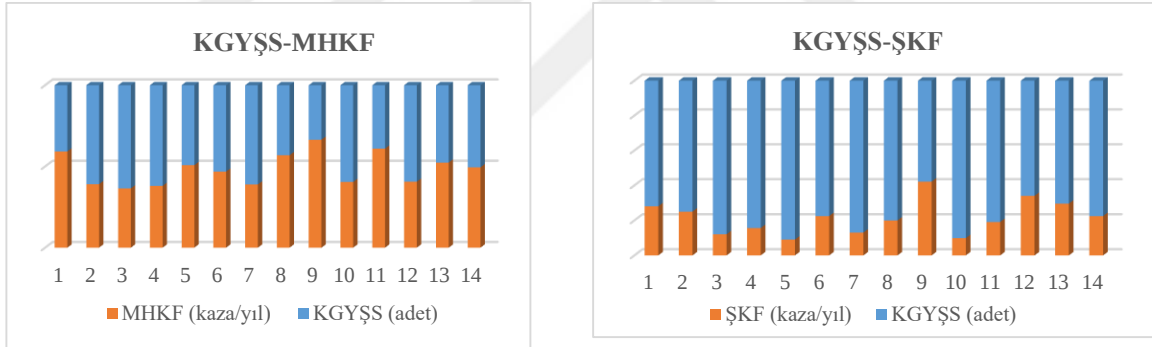
KGYS (Kavşağa Giriş Yapan Şerit Sayısı)

Bu çalışmada incelenen sahada kavşak kolları arasında yatay geometrik farklılıklar mevcuttur. Bazı kavşak kollarında bulunan şeritlerin sayıları da eşit değildir.

Bu modelde kavşak kol sayılarının, kollar arasındaki geometrik farklılıklarından dolayı, yapılan analizlerde beklenen kaza ilişkileri görülememiştir.

Yapılan model denemelerinde kavşağa giriş yapan şerit sayısı ile daha anlamlı sonuçlara ulaşılmıştır. Bir kavşağa giriş yapan şerit sayısının artması da çakışmaların artacağı anlamına gelir. Kavşaklarda mevcut şerit sayısında artış olması durumunda, kaza sayılarında artış olması beklenir.

Temel bileşenler analizinde 4. faktör grubunda yer alan kavşağa giriş yapan şerit sayısı, model değişkeni olarak seçilmiştir.



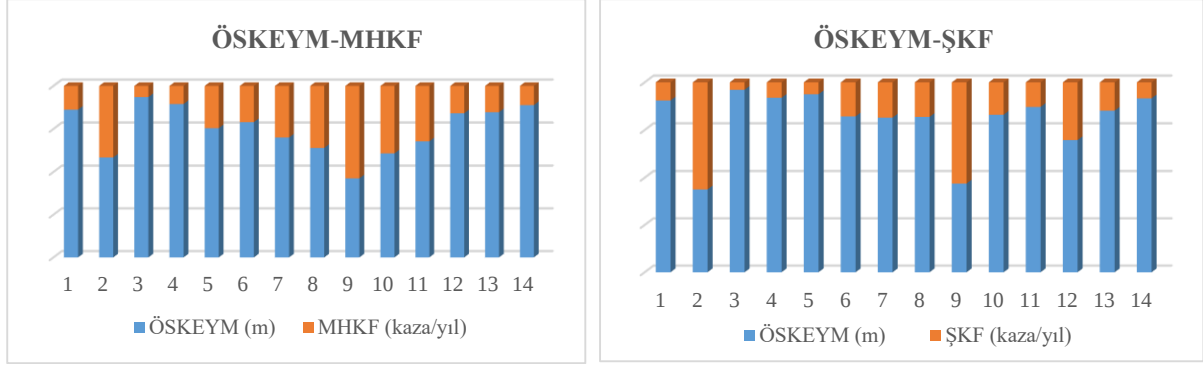
Şekil 20. KGYS kaza frekanslarındaki değişim

Şekil 20' den anlaşılacağı üzere şerit sayısına göre maddi hasarlı kazalar en fazla 9 nolu kavşakta olurken, en az kaza 3 nolu kavşakta meydana gelmiştir. Şiddetli kazalar için en fazla kaza 9 nolu kavşak olurken, en az kaza 5 ile 10 nolu kavşaklarda meydana gelmiştir.

ÖSKEYM (Önceki Sonraki Kavşağa En Yakın Mesafe)

Kavşaklar arası mesafe, doğrudan kazalarla ilişkisi tartışma konusudur. Kavşak kazalarını azaltmak için, farklı bir çalışmada, kavşağın her iki tarafında 85 metreden daha yakın olan kavşakların kapatılması önerilmektedir (Neuman ve Leisch 1985). Bir kent içi yol ağında kavşakların yaklaşması trafik akım elemanlarından hızı azaltır, yoğunluğu artırır. Trafik kazalarına hızın etkisi bilinmektedir (Archer vd 2008).

Bu çalışmada oluşturulan modelde kavşaklar arası mesafe değişkeninin kaza frekansı ile anlamlı bir ilişkiye sahip olduğu görülmüştür. Yapılan model senaryoları sonucunda, temel bileşenler analizinde 6. faktör grubunda yer alan önceki-sonraki kavşağa en yakın mesafe, model değişkeni olarak seçilmiştir.

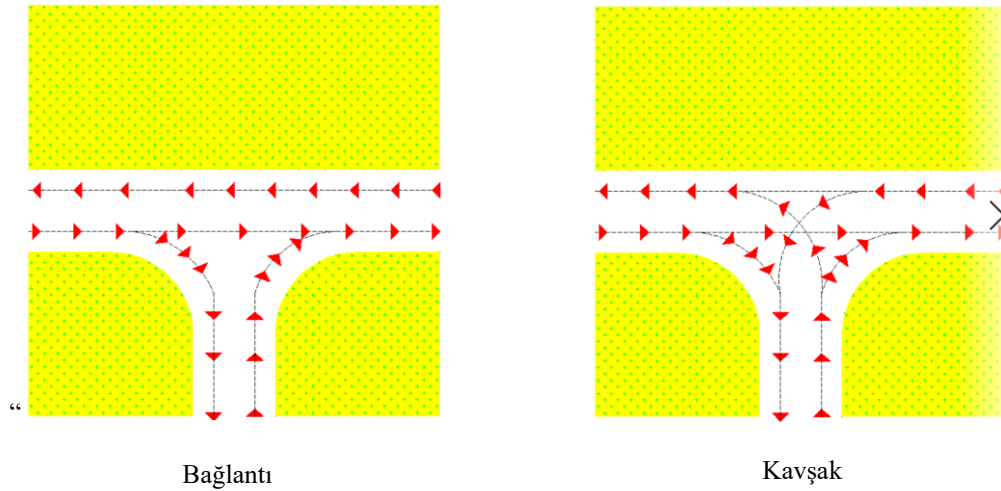


Şekil 21. ÖSKEYM kaza frekansları arasındaki değişim

Şekil 21’ deki grafik incelendiğinde kavşak mesafeleri dikkate alındığında en çok kaza 9 nolu kavşakta olurken, en az kaza 3 nolu kavşakta olmuştur.

Bu çalışmada, bir bağlantıdan çıkıldığında en az iki farklı yöne gidebilme alternatifi olan yer, kavşak olarak kabul edilmiştir. Bu kabul edilen kavşağın sinyalizasyon olup olmamasına bakılmamıştır. Eğer tek yön katılım ya da ayrılma ise bağlantı olarak kabul edilmiştir (Şekil 22).

Kavşaklar arası mesafe, ortak kavşak kolunun uzunluğu alınmıştır.



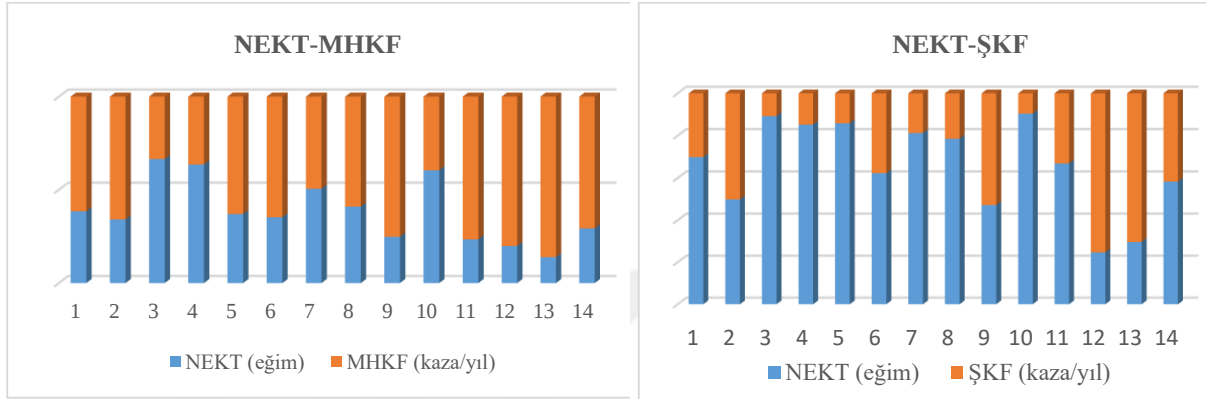
Şekil 22. Bağlantı – Kavşak

NEKT (Negatif Eğimli Kolların Toplamı)

Bu çalışmada incelenen sahada kavşak kollarındaki boyuna eğimin etkilediği olumsuz durum görüş mesafesidir. Kavşak kollarının, kavşak merkezinden aşağı doğru olan eğimler,

kavşağa giriş yapan araçların görüşünü olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durum çalışma sahasında kaza olma riskini artıran bir durumdur. Bundan dolayı çalışmada kavşak kotundan daha aşağı kota iniş yapan kolların eğimlerinin toplamı, bağımlı değişkenle anlamlı sonuçlar vermiştir.

Yapılan model senaryoları sonucunda, temel bileşenler analizinde 3. faktör grubunda yer alan negatif eğimli kolların toplamı, model değişkeni olarak seçilmiştir.

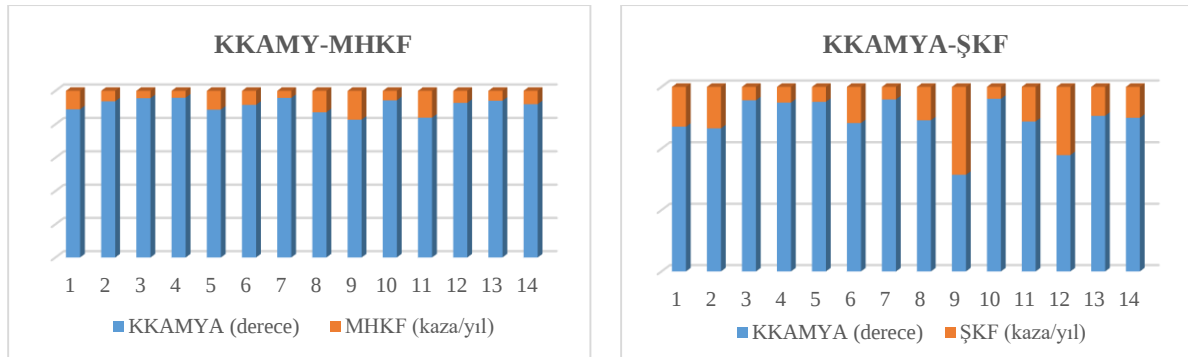


Şekil 23. NEKT ve kaza frekansları değişimi

Şekil 23‘den de anlaşılacağı üzere, en fazla maddi hasarlı kaza 13 nolu kavşakta olurken, en az kaza 3 nolu kavşakta meydana gelmektedir. Şiddetli kazalarda ise en fazla 12 nolu kavşakta, en az kaza ise 3 nolu kavşakta olmuştur.

KKAMYA (Kavşak Kolları Arası Maksimum Yatay Aç)

Kavşak kolları arasındaki yatay açı dik veya dike yakın olması kaza risklerini azalttığı bilinmektedir. Yapılan model senaryoları sonucunda, temel bileşenler analizinde 2. faktör grubunda yer alan kavşak kolları arasındaki maksimum yatay açı, model değişkeni seçilmiştir.

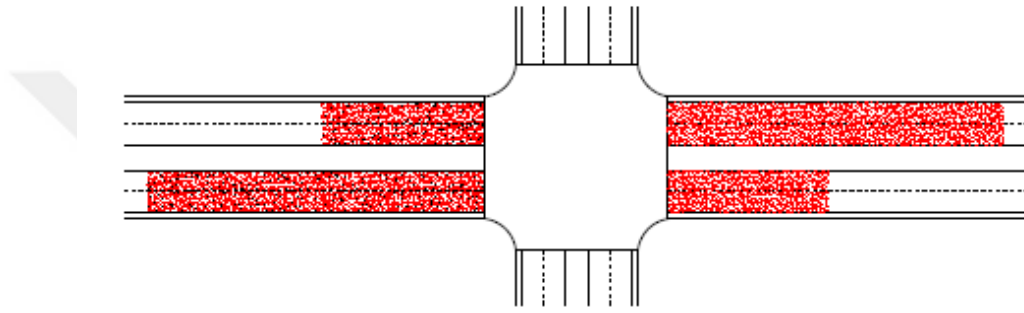


Şekil 24. Kavşak kolları arasında maksimum yatay açı- toplam kaza frekansı

Şekil 24‘de de anlaşılacağı üzere KKAMYA ‘nın kaza frekansları arasındaki ilişki belirtilmiştir. En fazla kaza 9 nolu kavşakta meydana gelmiştir.

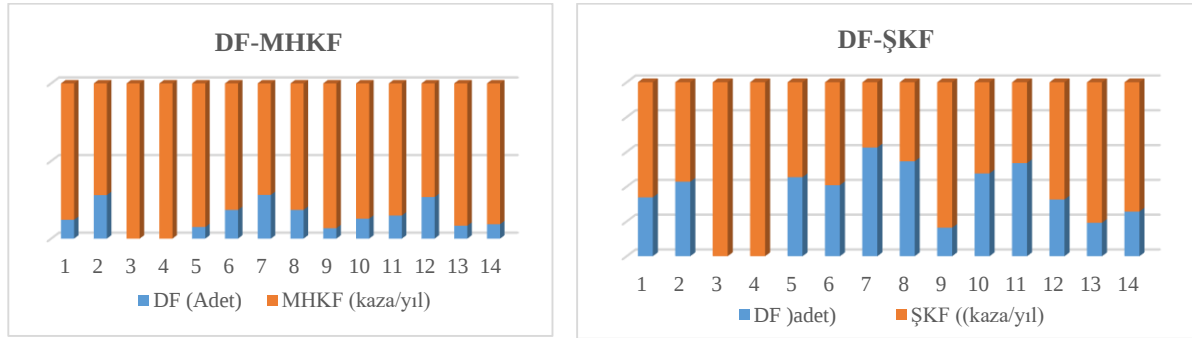
DF (Diğer Faktörler)

Kavşak fonksiyonel alanı içerisinde bulunan tesis bağlantı sayısı bu çalışmada diğer faktörler değişkeni olarak tanımlanmıştır. Çakışmaları artırması nedeniyle kavşak alanında bulunan tesislerin giriş ve çıkışları ilave bir risk faktörüdür. Türkiye’ de kavşaklara en az 100 m mesafede tesis açmak yasaklanmıştır (Anonim 2 2020). Çalışma sahasında bu kurala uymayan birçok kentsel kavşak bulunmaktadır. AASHTO (2001), kavşaklara 75 m mesafedeki tesislerin çıkışlarının değiştirilmesi gerektiği ifade edilmiştir. Bu çalışmada Türkiye’de sürücülerin hız kurallarına uymama eğilimi dikkate alınarak bu alan 100 m olarak kabul edilmiştir.



Şekil 25. Kavşak fonksiyonel alanı

Yapılan model senaryoları sonucunda, temel bileşenler analizinde 5. faktör gurubunda yer alan diğer faktörler, model değişkeni seçilmiştir.



Şekil 26. DF kaza frekanslarındaki değişim

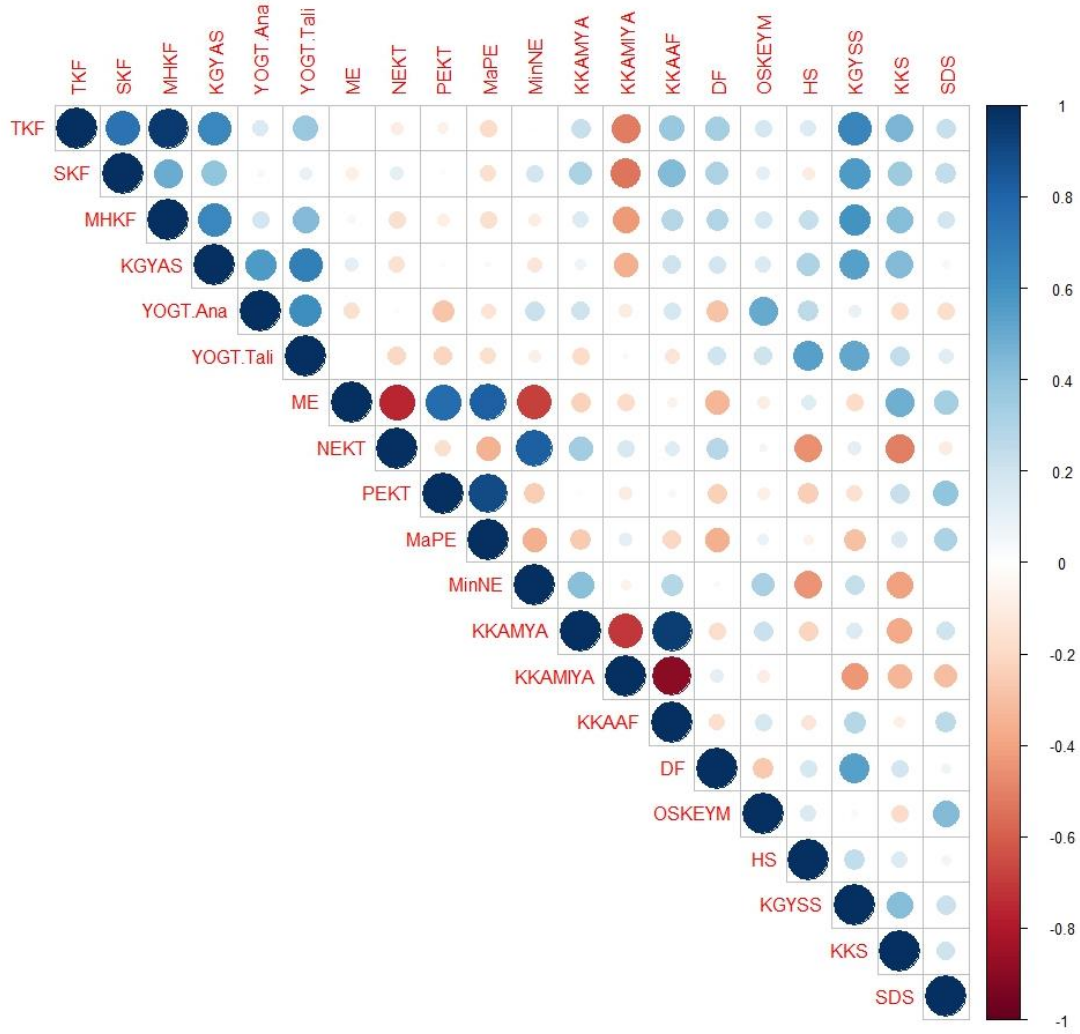
Şekil 26’ dan de anlaşılacağı üzere diğer faktörler değişkenine göre en fazla kaza 3 ve 4 nolu kavşakta olurken, en az kaza 7 nolu kavşakta meydana gelmektedir.

Diğer bağımsız değişkenler

Bu sahada meydana gelen kazalar için, toplam 17 adet bağımsız değişken belirlenmiştir. Bu değişkenlerin kazalar ile ilişkisi incelenmiştir. Yapılan analizler sonucu kaza tahmin modelinde yer alamamışlardır. Bu değişkenler Tablo 7’ de belirtilmiştir.

Tablo 7. Modelde Kullanılmayan Bağımsız Değişkenler

DEĞİŞKENLER	BİRİM	DEĞİŞKENİN TÜRÜ	AÇIKLAMA
YOGT Anayol	birim oto /gün	Bağımsız Değişken	Ana yol YOGT değeridir
ME (Mutlak Eğim)	eğim	Bağımsız Değişken	Kavşak kollarında bulunan bütün negatif ve pozitif boyuna eğimlerin mutlak toplamı
PEKT (Pozitif Eğimli Kolların Toplamı)	eğim	Bağımsız Değişken	Kavşak düzeyinden daha üst kotta yaklaşan kolların boyuna eğimlerinin toplamı
MaPE (Maksimum Pozitif Eğim)	eğim	Bağımsız Değişken	Kavşak düzeyinden daha üst kottan gelen eğimlerin en büyüğü
MinNE (Minimum Negatif Eğim)	eğim	Bağımsız Değişken	Kavşak düzeyinden daha aşağı kottan gelen eğimlerin en büyüğü
KKAAF(Kavşak Kolları Arasındaki Açı Farkı)	derece	Bağımsız Değişken	Kavşağın yatay geometrisinde kollar arasında oluşan açının en büyüğü ile en küçüğü arasındaki farkı
KKAMIYA (Kavşak Kolları Arasındaki Minimum Yatay Açı)	derece	Bağımsız Değişken	Kavşağın yatay geometrisinde kollar arasında oluşan açının en küçüğü
HS (Hizmet Seviyesi)	sınıf	Bağımsız Değişken	Zirve saatlerdeki kavşağın hizmet seviyesi(A=1.....F=7)
SDS (Sağa Dönüş Şeridi)	adet	Bağımsız Değişken	Kavşak fonksiyonel alanında bulunan sağa dönüş şeridi sayısı
KKS(Kavşak Kol Sayısı)	adet	Bağımsız Değişken	Kavşağa bağlanan kol sayısı



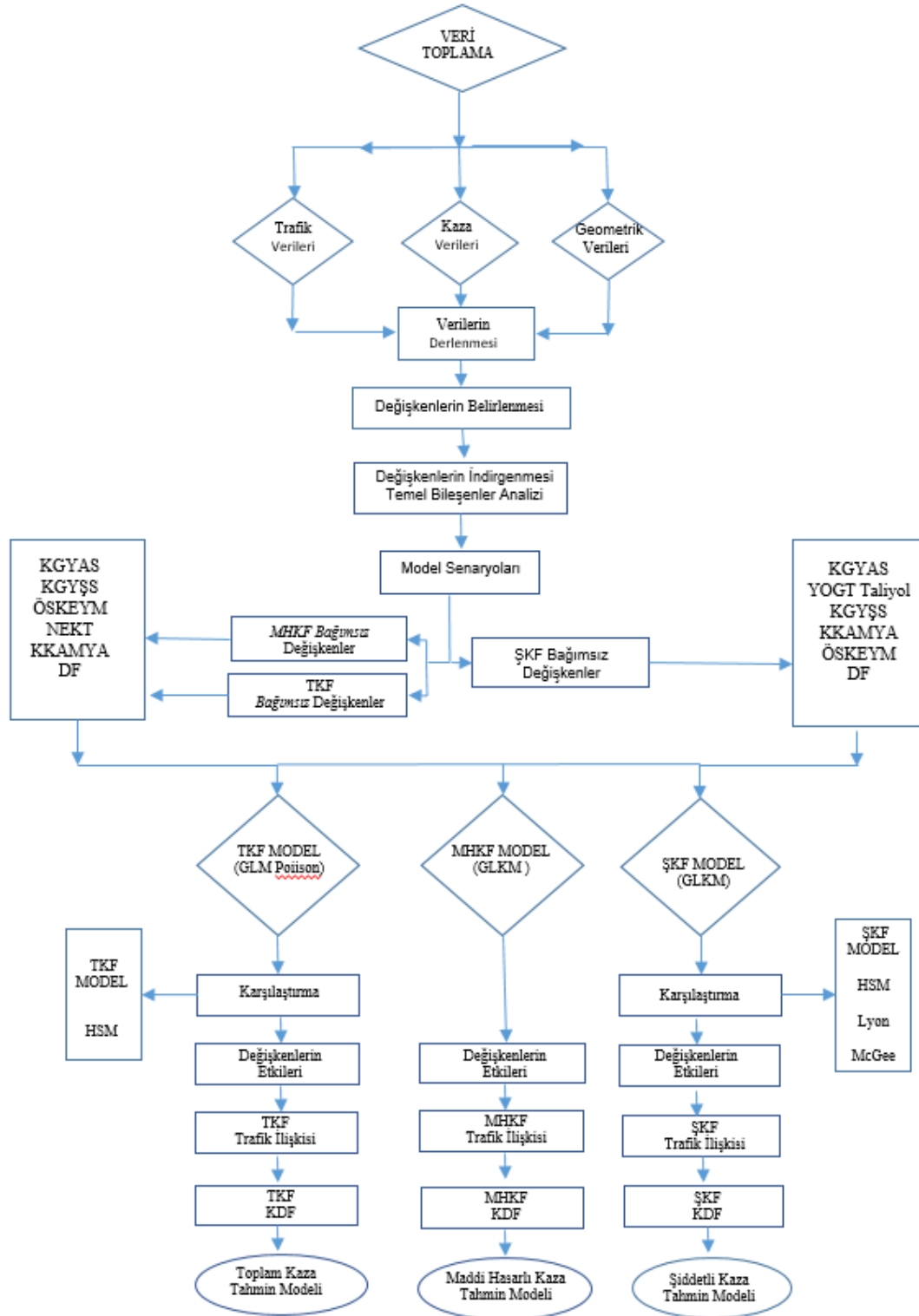
Şekil 27. Değişkenlerin korelasyon ilişkisi

Çalışmada incelenen değişkenlerin korelasyon ilişkisi Şekil 27’de dir. Bu şekilde mavi renkli simgeler korelasyon ilişkisinin aynı yönde olduğu, kırmızı renkli simgeler korelasyon ilişkisinin ters yönlü olduğunu gösterir. Simgelerin koyuluğu korelasyonun derecesini, büyüklüğü ise istatistiksel anlamlılığını belirtir.

Bağımsız değişkenlerin, model bağımlı değişkenleri arasındaki korelasyon ilişkisinde en dikkat çeken durumlar aşağıda sıralanmıştır.

- KGYAS değişkeni TKF ve MHKF bağımlı değişkenler ile önemli ilişkiye sahiptir.
- KGYSS değişkeni KKS değişkeninden daha yüksek korelasyona sahiptir. Bu durum modelde de aynı olmuştur.
- KDF hesaplanan 5 değişken arasındaki korelasyon ilişkisi çok az ve anlamsızdır.
- YOGT Ana değişkeninin kazalar üzerinde korelasyon ilişkisi çok azdır.

Çalışmada Kullanılan Metot



Şekil 28. Çalışma şeması

Temel bileşenler analizi

Çok boyutlu uzaydaki bir verinin daha düşük boyutlu bir uzaya izdüşümünü, varyansı maksimize edecek şekilde bulma yöntemidir. Uzayda bir noktalar kümesi için, tüm noktalara ortalama uzaklığı en az olan "en uygun doğru" seçilir. Daha sonra bu doğruya dik olanlar arasından yine en uygun doğru seçilerek, bu adımlar, yeni bir boyutun varyansı belirli bir eşiğin altına inene kadar tekrarlanır. Bu sürecin sonunda elde edilen doğrular, bir doğrusal uzayın tabanlarını oluşturur. Bu taban vektörlerine temel bileşen denir. Verinin temel bileşenleri birbirinden bağımsız olur.

Temel bileşenler analizi çok değişkenli bir analiz tekniğidir ve değişkenler arasındaki ilişkinin yapısını irdelemek için kullanılır. Bu teknikteki temel fikir, birbirleriyle ilişkili birçok değişken içeren veri setinin boyutlarını, veri setindeki mevcut değişimin mümkün olduğunca büyük miktarını korurken, bu veriler arasındaki kovaryansı kullanarak, azaltmaktır. Bu, verilerin birbirlerine orthogonal olacak şekilde lineer dönüşümünün yapılması ile gerçekleştirilir. Temel Bileşenler Analizi, verilerin orijinal değerleri veya standartlaştırılmış değerleri kullanılarak yapılabilir. Analiz ölçü birimine duyarlı olduğu için, değişkenlerin ölçü birimlerinin farklı olduğu durumlarda standartlaştırılmış değerlerin kullanılması daha uygundur. Temel bileşenlerin varyansları, verilerin varyans-kovaryans matrisinin (Σ) eigen değerlerine (A_{ij}) eşittir. Ek olarak, her bir eigen değere karşılık gelen eigen vektörler dışa açıklık gölge değişkeninin lineer birleşiminde kullanılabilecek katsayılardır (Yücel 2009).

Bu yöntemde veri kümesi X vektörü olsun. Eşitlik 1 ve 2 gösterildiği gibi M tane $N \times 1$ gözlem vektöründen oluştuğu kabul edilirse aşağıda verildiği gibi özetlenebilir.

$$X = [x^1 \mid x^2 \mid \dots \mid x^M] \quad (N \times M) \quad (1)$$

$$X = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_1^2 & \dots & x_1^M \\ x_2^1 & x_2^2 & \dots & x_2^M \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_N^1 & x_N^2 & \dots & x_N^M \end{bmatrix} \quad (2)$$

Çok değişkenli analizde, çoğu zaman değişkenlerin ölçü birimleri birbirinden oldukça farklıdır.

Ancak, bazı durumlarda verilerin aynı ölçü biriminde olması daha iyi sonuç verir. Bu amaçla, öncelikle değişken değerleri merkezileştirilerek aynı birime dönüştürülür. Bu standartlaştırma veri ortalaması 0'a çekilerek yapılır. Eğitim vektörlerinin ortalaması $\mathbf{m}$, Eşitlik 3'deki gibi hesaplanır. Hesaplanan ortalama vektörü her bir gözlem vektöründen çıkartıldığında değişkenler sıfır ortalamalı olur. Ortalaması çıkarılmış veri matrisi $\mathbf{X}$ biçiminde gösterilirse ortalaması çıkarılmış gözlem vektörleri Eşitlik 4, sıfır ortalamalı gözlem matrisi de Eşitlik 5 ve 6'da verildiği gibi belirlenir.

$$\mathbf{m} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \mathbf{x}^i = \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ . \\ m_N \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{x}^i = \mathbf{x}^i - \mathbf{m}, \quad i \quad (4)$$

$$\tilde{\mathbf{X}} = [\tilde{\mathbf{x}}^1 \mid \tilde{\mathbf{x}}^2 \mid \dots \mid \tilde{\mathbf{x}}^M] \quad (N \times M) \quad (5)$$

$$\tilde{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} x_1^1 - m_1 & x_1^2 - m_1 & . & x_1^M - m_1 \\ x_2^1 - m_2 & x_2^2 - m_2 & . & x_2^M - m_2 \\ . & . & . & . \\ x_N^1 - m_N & x_N^2 - m_N & . & x_N^M - m_N \end{bmatrix} \quad (6)$$

Bir sonraki aşamada sıfır ortalamalı gözlem verisinin kovaryans matrisi Eşitlik 7 kullanılarak hesaplanır ve Eşitlik 8 elde edilir.

$$\mathbf{C} = \tilde{\mathbf{X}} \tilde{\mathbf{X}}^T \quad (7)$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} (x_1^1 - m_1)^2 & (x_1^2 - m_1)(x_2^1 - m_2) & . & (x_1^M - m_1)(x_N^1 - m_N) \\ (x_2^1 - m_2)(x_1^2 - m_1) & (x_2^2 - m_2)^2 & . & (x_2^M - m_2)(x_N^2 - m_N) \\ . & . & . & . \\ (x_N^1 - m_N)(x_1^M - m_1) & (x_N^2 - m_N)(x_2^M - m_2) & . & (x_N^M - m_N)^2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Burada köşegen üzerinde bulunan katsayılar varyans, diğerleri kovaryans değerleridir. Varyans diğer boyutlardan bağımsız olarak yalnızca bir boyuttaki verinin ortalama etrafındaki

dağılımı hakkında bilgi vermektedir. Kovaryans ise bir değişkenin diğer değişkenlerle birlikte nasıl bir değişim gösterdiği hakkında bilgi verir ve daima iki değişken arasında hesaplanır (Konak 2006). Değişkenlerden birinin değeri artarken diğerinin de değeri artıyor ya da biri azalırken diğeri de azalıyorsa iki değişken arasındaki kovaryans değeri pozitifdir. Değişkenlerden birinin değeri artarken diğerinin değeri azalıyor ya da birinin değeri azalırken diğerinin değeri artıyorsa kovaryans değeri negatif olur. Eğer değişkenler arasında belirgin bir ilişki yoksa, kovaryans değeri sıfırdır (Alpar 2003).

Temel bileşenler analizi için kovaryans matrisine özdeğer-özvektör ayrıştırması Eşitlik 9 kullanılarak gerçekleştirilir. C , $N \times N$ boyutlu bir matris, λ herhangi bir skaler ve v sıfırdan farklı bir sütun vektör olmak üzere, Eşitlik 9'u sağlayan λ sayısı C 'nin özdeğeri ve v de λ ile ilişkili özvektörüdür.

$$Cv = \lambda v \quad (9)$$

Özdeğerler büyükten küçüğe doğru sıralanacak biçimde dizildiğinde, sıralı özdeğerlere karşılık gelen özvektörlerden ilk P tanesi bir matrisin sütunlarını oluşturacak şekilde dizildiğinde en iyi izdüşümü gerçekleştiren W iz düşüm matrisi Eşitlik 10'daki gibi elde edilir. Veri örneklerinin öznitelikleri de özvektörlerin belirlediği uzay üzerine iz düşüm alınarak Eşitlik 11'de verildiği gibi hesaplanır.

$$W = [W_1, W_2, \dots, W_P] \quad (10)$$

$$Y = W^T \cdot X^i, (i=1, 2, \dots, M) \quad (11)$$

Genelleştirilmiş lineer modeller

Bir veri setinde normal dağılım dışında hata dağılım modeline sahip yanıt değişkenlerine izin veren sıralı doğrusal regresyonun esnek bir genellemesidir.

GLM, lineer modelin bir link fonksiyonu aracılığıyla bağımlı değişkenle ilişkilendirilmesine izin vererek ve her ölçümün varyansının büyüklüğünün öngörülen değerinin bir fonksiyonu olmasını sağlayarak lineer regreyonu genelleştirir. Link fonksiyonun seçiminde ve belirlenmesin bağımlı değişkenin dağılımı önem arz etmektedir.

Gamma: Bu dağılım, daha büyük pozitif (sağa) çarpık sürekli değişkenler için uygundur. Bir veri değeri 0'a eşit veya küçük olduğunda analizlerde kullanılamaz.

Negatif binom: Bir olayda r 'inci başarının x denemede gerçekleşme olasılığını hesaplamada kullanılan kesikli olasılık dağılımlarından biridir. Bu dağılımın 0'dan büyük yardımcı parametresi mevcuttur. Bu değer 0 olduğunda dağılım poisson dağılımı ile aynı olur.

Poisson dağılımı: Belirli bir sürede bir olayın olma olasılığı şeklinde ifade edilebilir. Nadir rastlanan kesikli olayların modellenmesinde kullanılan bir dağılımdır.

GLM lerin en temel durumu poisson regresyon modelidir.

Poisson regresyon analizi yöntemi

Kaza tahmin modelleri, kaza frekansını trafik akımının ve diğer yol karakteristiklerinin bir fonksiyonu olarak ifade eden matematiksel eşitliklerdir. Kaza tahmin modellerinin katsayıları, geleneksel normal en küçük kareler veya ağırlıklı en küçük kareler regresyonu ile tahmin edilemezler. Çünkü kaza tahmin modelleri kabulleri, ayrık, negatif olmayan kaza veri değerleri ile trafik akımının artmasıyla kaza sayılarının da artmasının gerçekliliği tarafından ihlal edilmektedir. Bunun için, kaza tahmin modellerinin katsayıları yaygın olarak GLM' den yararlanılarak ayarlanan maksimum olabilirlik yöntemi ile tahmin edilmektedir (Lord vd 2000).

GLM'den poisson regresyon analizi kazalarda yaygın kullanılan ilk yöntemlerden biridir. Poisson regresyon modeli kesikli değişkenlere uygulanan en temel modeldir. Poisson dağılımı aralıklı, negatif olmayan, rasgele ve kesikli olaylar olan kazaların ifade edilmesi için uygun bir metottur.

Poisson regresyonu, her bir bölgedeki kaza sayısını belirten Y'yi bağımlı değişken olarak kabul eder ve Y değeri $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{iq}$ bağımsız değişkenlerini veren poisson dağılımına sahiptir.

$$P(Y_i = y_i | X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{iq}) = \frac{e^{-\mu(i)} \cdot \mu(i)^{y(i)}}{y(i)!} \quad i = 0, 1, 2, \dots \quad (12)$$

Burada;

$P(Y = y | X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{iq})$ = Verilen bölgedeki kazalarının olma olasılığı

y_i = Bir zaman periyodu boyunca i. kesimde oluşan kaza sayısı

μ_i = Bir zaman periyodu boyunca beklenen kaza sayısı

Ortalama μ_i değerinin logaritması, bağımsız değişkenlerin lineer bir fonksiyonu olarak kabul edilir.

Yani,

$$\ln(\mu_i) = b_0 + b_1 * X_{i1} + b_2 * X_{i2} + \dots + b_n * X_{in} \quad (13)$$

μ , bağımsız değişkenlerin üstel fonksiyonu olarak, 14 nolu eşitlikte belirtildi.

$$\mu_i = \exp(b_0 + b_1 * X_{i1} + b_2 * X_{i2} + \dots + b_n * X_{in}) \quad (14)$$

Model katsayıları olan, $b_0, b_1, b_2, \dots, b_q$ değerleri maksimum olabilirlik yöntemiyle tahmin edilir (Milton ve Mannering 1998).

Olabilirlik fonksiyonu;

$$L(\mu_i) = \prod_i^n \frac{e^{-\mu(i)} \mu(i)^{y(i)}}{y(i)!} \quad (15)$$

Poisson model bağımlı değişkenin ortalamasının varyansına eşit olması kabulüne dayanır. Poisson regresyon analizinde verilerde aşırı yayılım olması durumunda sonuç verememektedir. Bu durumda araştırmacılar negatif binom modeli kullanmaktadırlar. Kaza verilerinde çok sayıda sıfır veri olduğunda yukarıda bahsedilen iki model uygun bir kaza tahmin modeli veya analizi yapmaya imkân verememektedir. Bu durumda araştırmacılar poisson log normal model, sıfır şişirilmiş negatif binom model veya empirical bayes model gibi yaklaşımları tercih etmektedirler (Lord vd 2010).

Aşırı yayılım (overdispersion)

Kaza tahmin modellerinde, bağımlı değişken verilerinin varyansının, ortalamaya eşit olması durumunda poisson model ile iyi sonuçlar alınması beklenir. Ancak varyansın ortalamadan büyük olması durumunda poisson regresyon modeli ile uygun bir model kurmak mümkün olmayabilir. Bu durumun en önemli nedeni verilerdeki aşırı yayılımdır. Bir modelde pearson ki kare değerinin serbestlik derecesine bölünmesi ile elde edilen değere yayılım parametresi denir. Bu değer 1 den büyük ise verilerde aşırı yayılım vardır. Aşırı yayılımın olması durumunda negatif binom yöntemi ile tahmin edebilme kabiliyeti daha fazladır.

Negatif binom model

Negatif binom regresyonun, poisson regresyon modele hata teriminin eklenmesi ile oluşur (Hedayeghi 2002);(Özen 2020).

$$\mu_i = \exp(b_i . x_i + \varepsilon) \quad (16)$$

Burada ε ortalaması 1 ve varyansı α olan gamma dağılımına sahip hata terimidir. Negatif binom regresyon modeli için olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$P(y_i; \varepsilon) = \frac{(\exp(-\mu_i \exp(\varepsilon)) \cdot (\mu_i \exp(\varepsilon))^y}{y(i)!} \quad (17)$$

olarak verilebilmektedir.

Negatif Binom dağılımı koşullu olasılıktan bağımsız olarak ifade edilebilir.

$$P(y_i) = \frac{\Gamma(\theta + y(i))}{[\Gamma(\theta) \cdot y(i)!]} \cdot u_i^\theta (1 - u_i)^{y_i} \quad (18)$$

$$u_i = \Theta(\theta + \mu_i) \text{ ve } \Theta = 1/\alpha \quad (19)$$

Bu durum poisson modelinin aksine, NB modelinde ortalamanın varyansa eşit olmaması sonucunun doğurur.

$$\text{var}(y_i) = E(y_i)[1 + \alpha E(y_i)] \quad (20)$$

Burada, α yayılım ölçütüdür.

Bu çalışmada kurulan modellerdeki varyanslar ortalamalardan büyüktür. Yayılım parametresi de 1 den büyüktür. Bu nedenle poisson model yerine negatif binom yöntemi iyi sonuç vermesi beklenir. Toplam kazalarda poisson regresyon analizi ile iyi sonuçlar alınabilmiştir. Ancak negatif binom model den güçlü tahmin eden model kurulabilmişse de, model p değeri anlamsızdır. Bunun nedeni yüksek varyans-düşük bias dır.

Kaza tahmin modellerinde varyans bias uyumu

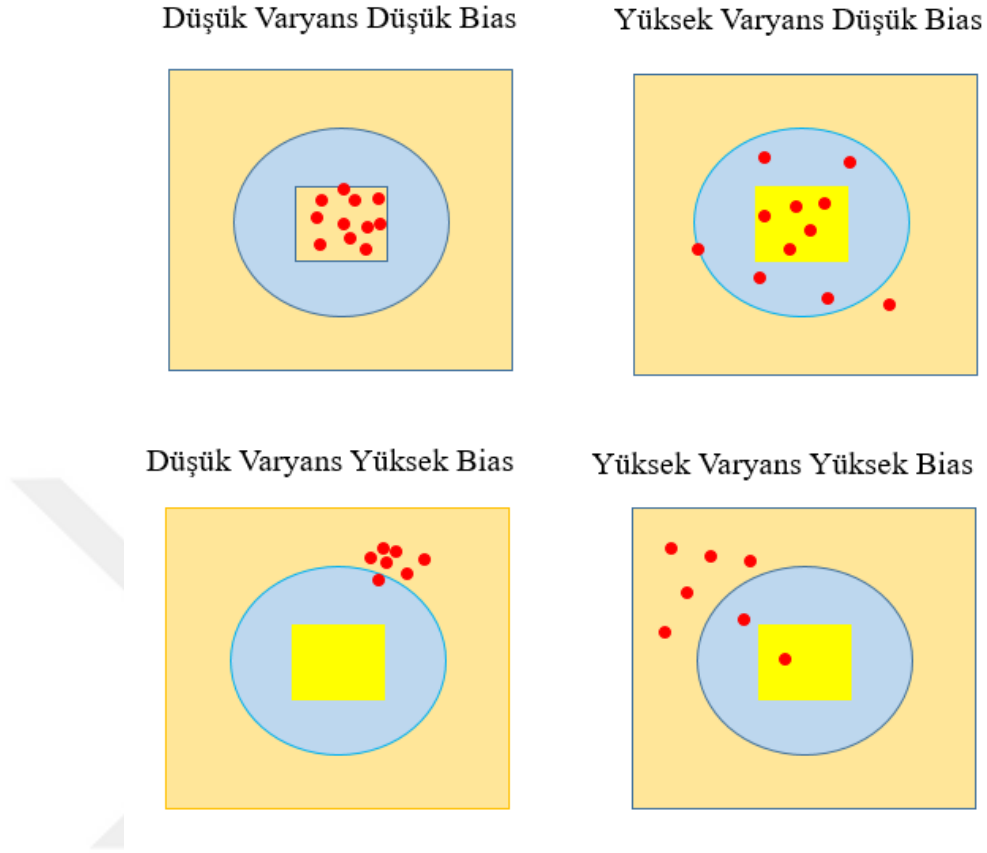
Modeller oluşturulurken temel amaç, bias ve varyans dengesinin kurulmasıdır. Bu uyumu sağlarsak iyi model uyumu elde etmiş oluruz.

Eksik model uyumu (under-fitting): Kurulan modelde elde edilen tahmin değerleri gözlem verisine yeterince uyum göstermediğinde ortaya çıkar. Bu durumda varyans düşükken bias yüksektir. Buradan şunu anlamak gerekir. Gözlem verisi ile tahmin edilen veri arasındaki fark büyükse, diğer bir deyişle kurulan modelle bağımlı değişken iyi tahmin edilemiyorsa bu durumda under-fitting oluşur. Under-fitting regresyon hata metrikleri ile kolaylıkla ortaya konulabilir.

Aşırı model uyumu (over-fitting): Kurulan modelde eğitilen veri seti gözlem verisine aşırı uyum gösterdiğinde ortaya çıkar. Bu durumda varyans yüksekken bias düşüktür.

Bu iki durumdaki bias ve varyans ilişkisi Şekil 29'da verilmiştir. Bir model kurulurken arzu edilen durum düşük varyans düşük bias tır. Buna başardığımızda iyi bir model uyumunu (good-fit) sağlamış ve iyi bir model kurmuş oluyoruz. Eksik model uyumu ise düşük varyans

yüksek bias durumudur. Aşırı model uyumu (over-fitting)'de varyans yüksek iken bias düşük olduğu durumdur (Bulut 2020).



Şekil 29. Modellerde varyans-bias dengesi

Bu çalışmada negatif binom ile kurulan modellerde yüksek varyans-düşük bias durumu oluşmuştur. Bu nedenle genelleştirilmiş lineer karma modeller ile kaza tahmin modeli araştırması yapıldı.

Çalışmada kullanılan hata metrikleri

Bu çalışmada OHKK (Ortalama Hataların Karesinin Karekökü), R^2 kullanılmıştır.

OHKK(RMSE): Tahmin değerleri ile gözlem değerlerin farkının karesinin ortalaması bulunan değer karekökü ile hesaplanır. Bu değer 0'a ne kadar yakın ise model o kadar iyidir.

Bias: Tahmin edilen değerler ile gözlem değerleri arasındaki farkların ortalamasıdır.

R^2 : Korelasyon katsayısının karesidir. Bu değer 1 e yakınlığı modelin iyiliğini gösterir.

Genelleştirilmiş lineer karma modeller

Genelleştirilmiş Lineer Karma Modeller (GLKM), genelleştirilmiş lineer model ile lineer tahmin edicilerin rastgele etkilerinin birleştirilmesiyle elde edilirler. Bu yöntemde GLM

'de olduğu gibi veriler normal dağılmayabilir. GLM modellerin hesaba katmadığı rastgele etkileri dikkate alabilen bir yöntemdir (Breslow ve Clayton 1993).

İstatistiksel bir modelin parametrelerini tahmin etme birçok istatistiksel analiz için anahtar bir adımdır. GLKM'ler için bu parametreler sabit etki ve rastgele etki parametreleridir. GLKM'lerin parametrelerini tahmin etmede iki temel yaklaşım vardır. Bunlar; olabilirlik fonksiyonuna yaklaşım ve modele yaklaşımdır. Modele yaklaşımda algoritmalar genelde Taylor serileri ile ifade edilir. Bu yaklaşımlar aynı zamanda lineerleştirme yöntemleri olarak da bilinirler. Lineerleştirme yöntemiyle ilerleyen süreç durdurma kriteri sağlanıncaya kadar devam eder. Genelleştirilmiş lineer karma modellerde lineerleştirme yöntemi, rastgele etkileri içeren modeller için Pseudo ve Penalized yarıolabilirlik (PQL) (Wolfinger ve O'Connell 1993) yöntemi kullanılır. Bu yöntemle bulunan parametre tahminleri, rastgele etkilerin en iyi yansız tahmin edicilerinin tahminleri olacaktır. GLKM parametrelerini tahmin etmek için olabilirlik fonksiyonuna çeşitli integral yaklaşım yöntemleri vardır. Bunlar, Laplace yaklaşımı, Gauss-Hermite Quadrature ve Markov Zinciri Monte Carlo algoritmasıdır (Koç ve Cengiz 2012). Bu yaklaşımların hepsinde sabit etki tahminleri kesin olarak doğru varsayılarak, rastgele etkilerin standart sapmasını tahmin eden klasik en çok olabilirlik tahmini ve kısıtlandırılmış en çok olabilirlik tahmini arasındaki fark ayırt edilmelidir. En çok olabilirlik tahmini çok büyük veri setleri dışında rastgele etkilerin standart sapmasını göz ardı eder ancak farklı sabit etkilere sahip modelleri karşılaştırmada çok kullanışlı bir yöntemdir.

Bu çalışmada kurulan modelde laplace yaklaşımı kullanılmıştır. β sabit etkilerin parametre vektörü ve θ da kovaryans parametrelerinin vektörü olsun. Laplace tahmini için θ , G-side parametrelerini ve olası bir ölçü parametresi ϕ' yi içerir ve verinin şartlı dağılımına bir ölçü parametresi sağlar. θ^* , G-side parametrelerinin vektörüdür. Bir karma modeldeki verinin marjinal dağılımı:

$$\begin{aligned} p(y) &= \int p(y|\gamma, \beta, \phi) p(\gamma|\theta^*) d\gamma \\ &= \int \exp \{ \log \{ p(y|\gamma, \beta, \phi) \} + \log \{ p(\gamma|\theta^*) \} \} d\gamma \\ &= \int \exp \{ c_1 f(y, \beta, \theta; \gamma) \} d\gamma \end{aligned} \quad (21)$$

Eğer c_1 sabiti büyük bir değer ise bu integralin Laplace yaklaşımı

$$L(\beta, \theta, \hat{\gamma}, y) = \left(\frac{2\pi}{c_1} \right)^{n_{\gamma/2}} | -f''(y, \beta, \theta; \hat{\gamma}) |^{-1/2} e^{c_1 f(y, \beta, \theta; \hat{\gamma})}. \quad (22)$$

n_{γ} , γ' daki elemanların sayısıdır. f'' , ikinci türev matrisi

$$f''(\gamma, \beta, \theta; \hat{\gamma}) = \frac{\partial^2 f(\gamma, \beta, \theta; \gamma)}{\partial \gamma \partial \gamma'} \bigg|_{\hat{\gamma}}$$

ve $\hat{\gamma}$,

(23)

$$\frac{\partial f(\gamma, \beta, \theta; \gamma)}{\partial \gamma} = 0$$

Laplace parametre tahmini için amaç fonksiyonu:

$$-2 \log\{L(\beta, \theta, \hat{\gamma}, y)\}' \text{ dir.}$$

(24)

Karşılaştırma Yapılan Kaza Tahmin Modelleri

Bu çalışmada oluşturulan model, başka sahalarda hazırlanmış modeller ile karşılaştırıldı. Karşılaştırma yapılan modeller aşağıda özetlendi.

HSM kaza tahmin modeli

AASHTO tarafından 2010 yılında yayınlanan HSM'de kapsamlı kaza tahmin modelleri yapılmıştır. Bu çalışmada kavşaklar için yapılan modellerde, banliyö ve kent içi yollardaki kavşaklar birlikte değerlendirilirken, kırsal yollardaki kavşaklar ayrı değerlendirilmiştir.

HSM'de yer alan kaza tahmin modeli empirical bayes metodu kullanılarak hazırlanmıştır. HSM kaza tahmini için sinyalize olan ve sinyalize olmayan kavşaklar, Üç ve dört kollu kavşaklar ayrı ayrı tanımlanmıştır. HSM, kazaları toplam kazalar, ölümlü yaralanmalı kazalar ve maddi hasarlı kazalar olarak sınıflandırmıştır. Daha sonra araç-arac, araç-yaya ve araç-bisiklet kazaları olarak da ayırmıştır.

HSM'de banliyö ve kent içi kavşaklarda meydana gelen kazaları tahmin etmek için hazırlanan modelde tekli ve çoklu kazalar için ayrı ayrı iki adet GPF' ler oluşturulmuştur. Bu GPF'lerin katsayıları; kol sayısı, kavşağın sinyalize olup olmaması ve kaza şiddetine göre tablolar halinde belirlenmiştir.

Bu GPF 'ler de kaza frekansı bağımlı değişken, ana yol YOGT ve tali yol YOGT ise bağımsız değişkenler olarak belirlenmiştir. HSM'de, bazı değişkenlerin kaza frekansına etkisini modele yansıtabilmek için KDF'ler kullanılmıştır. KDF belirli bir sahada belirli bir önlemin uygulanması sonrasında beklenen kaza sayısını hesaplamak için kullanılan çarpımsal faktördür. KDF'lerin kaza frekansına etkisi sonradan modele eklenmektedir.

HSM ayrıca hazırlanan GPF'lere benzer olabilecek başka bölgelere uygulanabilmesi için bir kalibrasyon faktörü de tanımlamıştır HSM (2010).

$$N_{Kavşak} = K_i * (N_{Araç-Araç Kazası} + N_{Araç-Yaya Kazası} + N_{Araç-Bisiklet Kazası}) \quad (25)$$

$$N_{Araç-Araç Kazası} = N_{GPF,kavşak} (KDF_{1i} * \dots * KDF_{6i}) \quad (26)$$

$$N_{GPF, kavşak} = N_{Çoklu Araç} + N_{Tekli Araç} \quad (27)$$

$$N_{Çoklu Araç} = \exp(a + b * \ln YOGT_{ANAYOL}) + c * \ln YOGT_{TALIYOL} \quad (28)$$

$$N_{Tekli Araç} = \exp(a + b * \ln YOGT_{ANAYOL}) + c * \ln YOGT_{TALIYOL} \quad (29)$$

$$N_{Araç-yaya} = N_{Araç-Yaya Kazası} * (KDF_{1y} * KDF_{2y} * KDF_{3y}) \quad (30)$$

$$N_{Araç-Yaya Kazası} = \exp(a + b * \ln YOGT_{Toplam}) * \ln(YOGT_{TALIYOL}/YOGT_{ANAYOL}) + d * \ln V_{yaya} + e * n_{şeritx} \quad (31)$$

$$N_{Araç-Bisiklet} = N_{Araç-Araç} * f_{bisiklet} \quad (32)$$

Burada;

$N_{Kavşak}$: Kavşağın kaza frekansı tahmini

K_i : Kalibrasyon faktörü

$N_{Araç Kazası}$: Kaza değişim faktörü ile düzeltilmiş araç kaza sayısı

$N_{GPF,kavşak}$: GPF katsayıları dikkate alınarak belirlenen tekli ve çoklu araç kaza sayısı

$N_{Çoklu Araç}$: Çoklu araç kaza sayısı

$N_{Tekli Araç}$: Tekli araç kaza sayısı

$YOGT_{ANAYOL}$: Kavşak kollarında anayol YOGT'si

$YOGT_{TALIYOL}$: Kavşak kollarında taliyol YOGT'si

a,b,c,d,e : GPF'ler için HSM tarafından belirlenmiş katsayılar

V_{yaya} : Tüm kavşak kollarında günlük karşıdan karşıya geçen yaya hacmi

$n_{şeritx}$: Bir yayanın karşıya geçiş manevrasında geçtiği maksimum şerit sayısı

$f_{bisiklet}$: Üç Kollu Sinyalize Kavşak için 0.011 ve Dört Kollu Sinyalize Kavşak için 0.015

HSM, belirlediği her kavşak tipi ve kaza şiddeti sınıfı için, empirical bayes yöntemini kullanarak, belirli bir güven aralığında eşitlik 8 ve 9'da verilen ifadeleri ayrı ayrı hesaplayarak,

fonksiyonlar oluşturmuştur. Bu fonksiyonların değişkenleri aynı kalırken, regresyon katsayıları her kavşak tipi ve kaza sınıfı için değişmektedir. Hesaplanan bu katsayılar tablolar halinde HSM’ de yayınlanmıştır.

Bu çalışmada önerilen modelin kaza tahmini hesaplanmasında kullanılan veri setindeki kaza frekansları, araç-araç, araç-yaya ve araç-bisiklet kazalarının toplam olarak belirtmektedir. HSM modelinde araç-araç, araç-yaya ve araç bisiklet kaza tahmin değerleri ayrı ayrı hesaplanmaktadır (Eşitlik 25,26,27,28, 29, 30, 31 ve 32).

Lyon kaza tahmin modeli

Lyon vd (2005), Ontario'daki Toronto şehrinde kentsel alanda sinyalize kavşaklar için bir kaza tahmin modeli geliştirdiler. Bu modelde şiddetli kazaları incelediler. Çalışmada aşağıdaki genelleştirilmiş denklem kullanılmıştır.

$$C_i = \alpha \cdot Q_{ana}^{\beta_1} \cdot Q_{tali}^{\beta_2} \cdot e^{(\beta_3 Q_{tali})} \quad (33)$$

Burada;

C_i = Sinyalize kavşaklarda olan ciddi kaza frekansı (kaza/yıl)

Q_{ana} = Ana yol üzerindeki günlük toplam trafik (araç/gün)

Q_{tali} = Ana yol üzerindeki günlük toplam trafik (araç/gün)

α, β_j = Regresyon katsayıları($j = 1, 2, 3$)

Bu modelde Tablo 8’de sunulan kalibrasyon katsayıları kullanılarak kaza tahminin yapılıyor. Lyon Modeli 306 üç kollu, 1410 dört kollu kavşağın, 5 yıllık kaza verisi kullanılarak oluşturulmuştur.

Tablo 8. Lyon Modeli için Kalibrasyon Katsayıları

Kavşak Kol Sayısı	Fonksiyonel Sınıflama		Model Kalibrasyon Katsayıları			
	Ana Yol	Tali Yol	α.	β_1	β_2	β_3
4	Yerel	Yerel	0.000531	0.434	0.434	0.00000947
		Yerel	0.000877			
	Ana Yol	Toplayıcı	0.000992			
		Tali Yol	0.001458			
		Yerel	0.001087			
	Tali Yol	Toplayıcı	0.001347			
		Tali Yol	0.001549			
		Ana Yol	0.001632			

Tablo 8. (Devam)

	Diğer	Diğer	0.000082	0.570	0.545	0.00000604
	Tali Yol	Tali Yol		0.588	0.375	0.0
	Toplayı	Toplayı Yol	0.000204			
	Yol Yerel	Yerel				
		Yerel	0.000160			
3	Ana Yol	Toplayıcı	0.000232			
		Ana/Tali Yol	0.000251			
	Diğer	Diğer	0.000063	0.598	0.503	0.0

Mcgee kaza kahmin modeli

McGee vd (2003), kentsel sinyalize kavşaklar için kaza tahmin modeli geliştirdi. Oluşturulan kaza tahmin modelinin kaza verileri Kanada ve Amerika Birleşik Devletlerindeki 5 eyaleti kapsıyor. Kazalar kentsel alan da bulunan sinyalize kavşaklarda meydana gelen şiddetli kazaları tahmin ediyor. Bu modelde 170 adet 3 kollu, 629 adet 4 kollu sinyalize kavşağın verileri kullanılarak hazırlanmıştır. Tablo 9 de verilen kalibrasyon katsayıları eşitlik 30'da yerine konarak kaza tahmini elde ediliyor.

$$C_i = \alpha \cdot Q_{ana}^{\beta_1} \cdot Q_{tali}^{\beta_2} \cdot e^{Q_{tali}\beta_3} \quad (34)$$

Burada;

C_i = Kavşaklarda meydana gelen şiddetli kaza frekansı kaza/yıl

Q_{ana} = Ana caddedeki toplam günlük trafik hacim (her iki yön), araç /gün

Q_{tali} = Tali caddede (her iki yönde) toplam günlük trafik hacim, araç / gün

$\beta_1 \beta_2 \beta_3 \alpha$ regresyon katsayılarıdır.

Tablo 9. McGee Modeli İçin Kalibrasyon Katsayıları

Kavşak Kol Sayısı	Model Kalibrasyon Katsayısı			
	α .	β_1	β_2	β_3
4	0.003180	0.4911	0.1975	0.0
3	0.000480	0.6370	0.1901	0.0

Kaza değişim faktörü

KDF, belirlenen bir sahada, belirli bir yöntem uygulandıktan sonra beklenen kaza sayısının hesaplamak için kullanılan çarpımsal bir faktördür. 1,0 dan büyük bir KDF kazalarda artışı, 1,0 dan küçük KDF kazalarda azalışı ifade eder. FHWA (Federal Highway

Administration) katkıları ile 2010 yılında nitelikli KDF hazırlama rehberi hazırlanmıştır (Gross, 2010). Bu rehberde KDF değerinin hesaplama yöntemleri detaylı olarak anlatılmıştır. Bu çalışmada kesitsel tasarım (Cross-Sectional) yöntemi kullanılarak KDF elde edilmiştir.

Bu yöntem bir zaman periyodu altında, sahada meydana gelen kazalardan elde edilen verilerden hesaplanır. Kesitsel yöntem, bir karşı önlemin uygulanmadığı dar alanlarda KDF hesaplamakta kullanılır. Örneğin banket genişliğinin 1 m den 2 m ye çıkarılmasının kazalar üzerinde etkisi için KDF değeri araştırılır. Sahada 1 m den 2 m ye çıkarılmış çok az yol kesimi olabilir veya hiç olmayabilir. Bu durumda kaza sayılarını karşılaştırma imkânı doğmayacaktır. Ancak sahada birçok yerde 1 m ve 2 m banket genişliğine sahip olan yerlerde meydana gelen kaza frekansları incelenerek KDF araştırması yapılabilir (Gross, 2010).

Bu çalışmada araştırılan bağımsız değişkenin modelde bulunan anlamlı ilişkisi kullanılarak KDF 'ler elde edilmiştir. Bulunan bu KDF 'ler sahadaki güvenlik sınırları içerisinde %95 güven aralığında kazaları tahmin etme kabiliyetine sahip olacaktır.

ARAŞTIRMA BULGULARI

Değişkenlerin Belirlenmesi

Bu çalışmada kaza tahmin modelini oluşturmak için, Tablo 8’de sıralanan 17 adet bağımsız değişken belirlenmiştir. Bu değişkenler arasında çoklu bağlantı problemi olmasından dolayı boyut indirgemesi için temel bileşenler analizi yapılmıştır.

17 adet bağımsız değişkenin yapılan analiz sonucu 6 adet değişkene indirgenmiştir. İndirgenmiş değişkenler, toplam varyansın %92,74 ‘nün açıklanabildiği belirlendi (Tablo 10).

Tablo 10. Temel Bileşenler Analizi

Temel Bileşenler Analizi	Faktör Numaraları					
	1	2	3	4	5	6
Açıklanan Varyans (%)	21,764	20,668	18,496	13,715	9,151	8,947
Açıklanan Toplam Varyans (%)	21,764	42,432	60,929	74,644	83,795	92,742

Tablo 11. Dönüştürülmüş Bileşen Matrisi

No	Değişkenler	1	2	3	4	5	6
1	YOGT Ana	0,960					
2	YOGT Tali	0,952					
3	KGYAS	0,932					
4	PEKT						
5	MaPE				0,930		
6	MinNE				0,773		
7	ME				0,493		
8	NEKT				0,884		
9	ÖSKEYM						0,930
10	KGYŞS				0,829		
11	KKAMYA		0,862				
12	KKAMİYA		-0,895				
13	KKAAF		0,949				
14	HS						0,427
15	KKS				0,453		
16	DF					0,790	
17	SDS						0,575

Her bir faktör gurubunda bulunan değişkenlerin ağırlık değerleri Tablo 11’deki gibi elde edilmiştir. Bu çalışmada her bir faktör gurubundan bir değişken alınarak farklı senaryolu modeller oluşturulmuştur. Her bir senaryoda oluşturulan modellerin karşılaştırılması ABK’ya (Akaike Bilgi Kriteri) göre yapılmıştır (Tablo 12) (Akaike 1973).

Tablo 12. Oluşturulması Planlanan Modelin Değişken Gurubunu Belirleme

Değişken Gurubu	ABK
3,11,8,10,16,9	907,951
2,11,8,10,16,9	912,318
1,11,8,10,16,9	908,862
3,11,8,15,16,9	942,243
3,11,8,15,16,8	951,664
3,13,5,10,16,9	915,502
3,11,5,10,16,9	919,405
3,13,8,10,16,9	910,436

Oluşturulan farklı senaryolardaki en iyi model, en küçük ABK değerine sahip olan model belirlenmiştir. Yapılan model denemelerinde ŞKF ile 8. veri arasında anlamlı ilişkiler oluşmamıştır. ŞKF ile YOGT Tali değişkeni arasında ise sıra dışı bir ilişki bulunmuştur. Bu nedenle ŞKF modeline YOGT Tali bağımsız değişken olarak atanmıştır.

Model değişkenleri kurulan modellerde oluşan anlamlı ilişkiler dikkate alınarak seçilmiştir (Tablo 13).

Tablo 13. Çalışmada Kullanılan Değişkenler

DEĞİŞKENLER	BİRİM	DEĞİŞKENİN TÜRÜ	AÇIKLAMA
TKF	kaza/yıl	Bağımlı Değişken	Bir yıl içerisinde meydana gelen ölümlü, yaralanmalı ve maddi hasarlı tüm kazaların sayısı
MHKF	kaza/yıl	Bağımlı Değişken	Bir yıl içerisinde meydana gelen maddi hasarlı tüm kazaların sayısı
ŞKF	kaza/yıl	Bağımlı Değişken	Bir yıl içerisinde meydana gelen ölümlü, yaralanmalı tüm kazaların sayısı
KGYAS	birim oto/gün	Bağımsız Değişken	Bir günde kavşağa giriş yapan toplam birim oto cinsinden taşıt sayısı
YOGT Tali	birim oto/gün	Bağımsız Değişken	Kavşağın tali koluna ait YOGT değeri
KGYŞS	adet	Bağımsız Değişken	Kavşağa giriş yapan şeritlerin toplam sayısı
ÖSKEYM	m	Bağımsız Değişken	En yakın komşu kavşağa olan mesafe
NEKT	eğim	Bağımsız Değişken	Kavşağın merkez kotundan daha düşük kota giden kollara ait eğim değerlerinin toplamı
KKAMYA	derece	Bağımsız Değişken	Kavşağın yatay geometrisinde kollar arasında oluşan açının en büyüğü
DF	adet	Bağımsız Değişken	Kavşağın fonksiyonel alanı içerisinde tesis bağlantısı sayısı

TKF için Oluşturulan Modeller

Bu çalışmada 2008-2017 yılları arasında meydana gelen kazalara ait veriler ile örnek kavşaklara ait diğer veriler SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) paket programı, R programı ve Matlab programı ile analiz edildi.

TKF poisson model

TKF için oluşturulan poisson model Tablo 14' belirtildiği gibidir.

Tablo 14. TKF Poisson Model

Katsayılar	Tahmin	Standart Hata	Z Değeri	P Değeri	
Sabit	-6,556e-01	2,208e-01	-2,970	0,00298	**
KGYAS	7,517e-06	1,554e-06	4,838	1,31e-06	***
NEKT	-3,758e+00	9,519e-01	-3,948	7,87e-05	***
KGYŞS	1,440e-01	1,915e-02	7,517	5,59e-14	***
KKAMYA	5,553e-03	1,287e-03	4,316	1,59e-05	***
DF	1,983e-01	3,300e-02	6,008	1,88e-09	***
ÖSKEYM	1,298e-03	1,996e-04	6,504	7,84e-11	***

Tablo 14'de verilen sonuçlar ışığında bu kavşaklar için %95 güven aralığında uzun dönem kaza frekansı Eşitlik 35'deki link fonksiyonu ile ifade edilmiştir. Modelde 6 bağımsız değişken için ki kare olasılık oranı 501,677 olup, p değeri 0,000 dır. Yayılım parametresi 2,20 dir. Bu değer 1 den büyük olduğu için bu veri seti ile negatif binom modelin daha iyi sonuçlar vermesi beklenir. Ancak negatif binom yöntemi ile oluşturulan model anlamlı çıkmamıştır. Sonuçlar Tablo 15'de belirtilmiştir.

TKF negatif binom model

Tablo 15. TKF Negatif Binom Model

Değişkenler	Tahmin	Standart Hata	Z Değeri	P Değeri	
Sabit	-5,770e-01	3,514e-01	-1,642	0,10295	
KGYAS	7,626e-06	2,602e-06	2,931	0,00398	**
NEKT	-3,510e+00	1,513e+00	-2,320	0,02186	*
KGYŞS	1,387e-01	2,960e-02	4,687	6,78e-06	***
KKAMYA	5,273e-03	1,983e-03	2,659	0,00879	**
DF	2,039e-01	4,943e-02	4,125	6,49e-05	***
ÖSKEYM	1,342e-03	3,076e-04	4,361	2,57e-05	***

Tablo 15’de görüldüğü üzere model anlamlılık düzeyi arzu edilen değerin altındadır. Bu nedenle veri seti sabit ve rastgele etkileri dikkate alan GLKM ile tekrar kurulmuştur.

TKF GLKM model

Tablo 16. TKF GLKM Model

Değişkenler	Tahmin	Standart Hata	t Değeri	P Değeri	
Sabit	-0,65559	0,22076	-2,9697	0,0035378	**
KGYAS	7,5165e-06	1,5538e-06	4,8376	3,58e-06	***
NEKT	-3,7583	0,95189	-3,9482	0,000127	***
KGYŞS	0,14395	0,01915	7,5172	7,3877e-12	***
KKAMYA	0,005553	0,0012867	4,3155	3,0838e-05	***
DF	0,19826	0,033	6,008	1,6926e-08	***
ÖSKEYM	0,0012979	0,00019956	6,5037	1,4565e-09	***

Oluşturulan modeller Tablo 17’de karşılaştırılarak poisson model kaza tahmin modeli olarak belirlenmiştir. Model seçiminde ABK’nın küçük olması, R^2 büyük olması OHKK değerinin küçük olması şartları aranmıştır.

Tablo 17. TKF Model Karşılaştırması

TKF Modelleri	Poisson	Negatif Binom	GLKM
ABK	907,52	866,14	907,52
R^2	0,964	0,920	0.963
OHKK	1,52	5,00	1,52
P değeri (<0.05)	0,0298	0,10295	0,0035378

TKF değerini tahmininde GLKM ve poisson yöntemi ile aynı katsayılar elde edilmiştir. Bu çalışmada poisson yöntemi daha temel yaklaşım olması nedeniyle, TKF modeli poisson yöntemi ile kuruldu.

TKF kaza tahmin modeli

$$Y = e^{(-0,655+(7,517e-6)x_1-3,758x_2+0,144x_3+0,005553x_4+0,1983x_5+0,001298x_6)} \quad (35)$$

Burada;

$Y =$ TKF (kaza/yıl)

$X_1 =$ KGYAS (birim oto/gün)

$X_2 =$ NEKT (eğim)

$X_3 =$ KGYŞS (adet)

X_4 =KKAMYA (derece)

X_5 =DF (adet)

X_6 =ÖSKEYM (m)

Kurulan bu model, örnek kavşaklar arasında yer almayan sinyalizasyon kavşaklarında, modelin sahadaki kazaları hesaplayabilme kabiliyeti denenmiştir. Bu kavşakların ilkinde, 2008 yılı trafik verileri ile geometrik değişkenleri modele girildiğinde 8,42 kaza/yıl değeri hesaplanmıştır. 2008 yılında bu kavşakta, meydana gelen kazaların sayısına bakıldığında 7 değerine ulaşılmıştır. Yine aynı şekilde bir diğer kavşağın, 2011 yılı trafik verileri ile model değişkenleri girildiğinde 2,42 kaza/yıl değeri elde edilmiştir. 2011 yılında incelenen kavşakta 2 adet kaza meydana gelmiştir.

Tablo 18. Değişkenlerin Frekans Tablosu

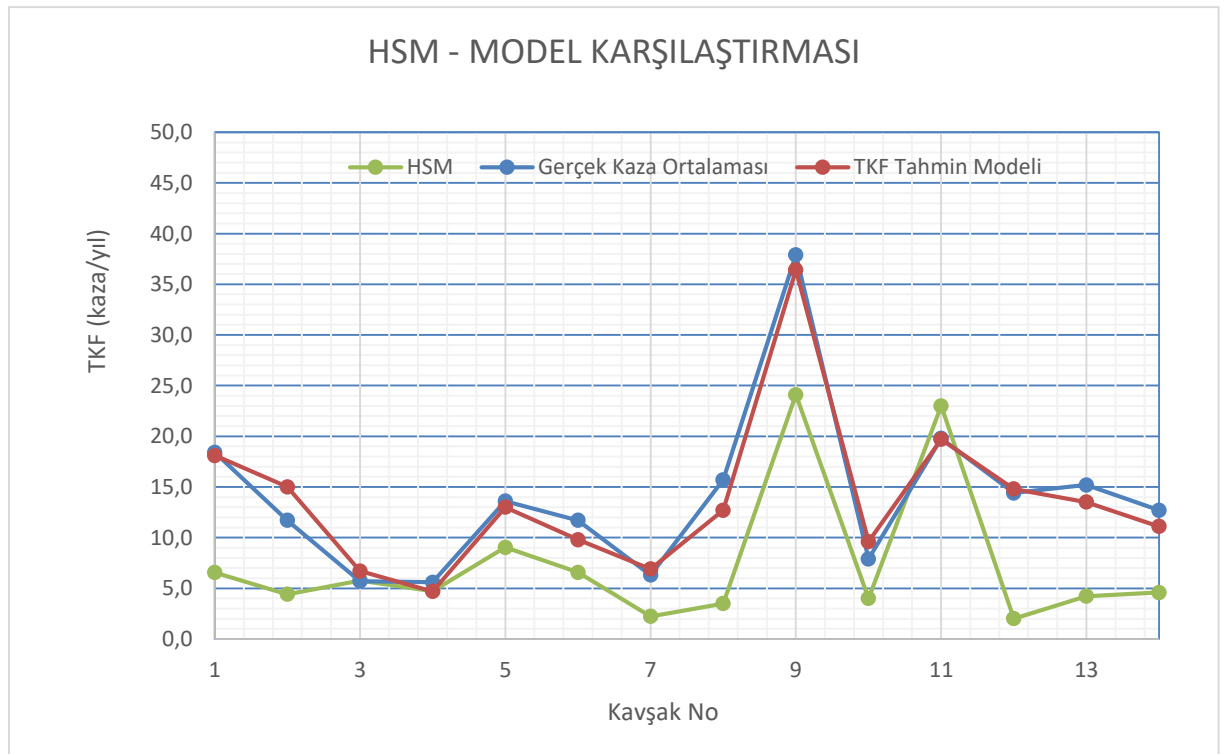
Değişkenler	N	Minimum	Maksimum	Ortalama
TKF	140	1	49	14,04
MHKF	140	0	36	10,81
ŞKF	140	0	19	3,26
KGYAS	140	6.477	75.335	23,591
YOGT Tali	140	2.194	16.661	6.556
NEKT	140	-0.10390	-0.01770	-0,06335
ÖSKEYM	140	80	510	244,6
KGYŞS	140	7	14	10,29
KKAMYA	140	90	175	111,7
DF	140	0	3	1,714

TKF kaza tahmin modeli ile HSM modelinin karşılaştırılması

Tablo 19’da 14 kavşağa ait 10 yıllık gerçek kaza frekansı ortalamaları, TKF model ile tahmin edilen kaza frekans değerleri ve HSM modelinin tahmin ettiği kaza frekans değerleri yer almaktadır. Bu çalışmada hazırlanan modelin çalışma sahasında meydana gelen kazaların frekansını tahmin etme kabiliyeti ile HSM ’de sunulan kaza tahmin modelinin tahmin etme kabiliyetleri karşılaştırılmıştır. Modellerin OHKK değerleri dikkate alındığında HSM de sunulan modelin bu çalışmada oluşturulan modelin OHKK değerine göre daha büyük olduğu belirlenmiştir.

Tablo 19. Poisson Model ile HSM Model'in Sonuçlarının Karşılaştırılması

Kavşak No	2008-2017 yılları arasındaki ortalama TKF (kaza/yıl)	TKF için tahmin edilen kaza frekansı (kaza/yıl)	HSM 2010 kent içi dört ve üç kollu sinyalize kavşaklarda tahmin edilen TKF (kaza/yıl)
1	18,4	20.3	6,6
2	11,7	14.5	4,4
3	5,7	7.1	5,8
4	5,6	4.8	4,7
5	13,6	13.6	9,0
6	11,7	10.0	6,6
7	6,3	6.7	2,2
8	15,7	12.9	3,5
9	37,9	36.4	24,1
10	7,9	9.3	4,0
11	19,8	19.7	23,0
12	14,4	15.3	2,0
13	15,2	14.1	4,2
14	12,7	11.9	4,6
OHKK		1,52	8,29

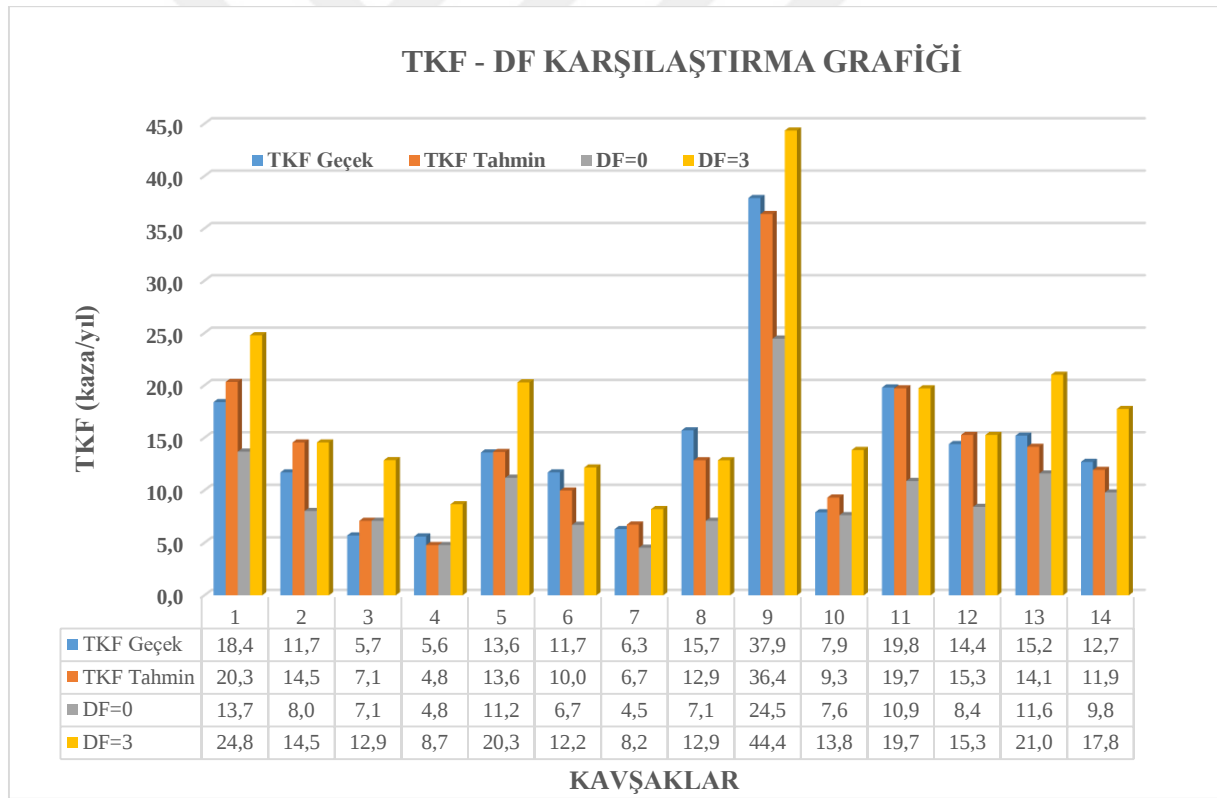
**Şekil 30.** HSM – model karşılaştırması

Çalışmada kurulan model gerçek kaza verileri ve HSM modeli Şekil 30'daki grafikte karşılaştırılmıştır. Kurulan model sonuçları gerçek kaza verilerine çok yakın değerler elde edildi. Çalışmada incelenen 3 ve 4 nolu kavşaklarda HSM, çalışmadaki modelin sonuçları ve gerçek kaza değerleri birbirine yakındır. Çalışmada incelenen diğer kavşaklarda ise HSM model sonuçları gerçek kaza verilerinden uzaklaştığı, model yardımıyla elde edilen sonuçlarda ise gerçek kaza değerlerine yakın değerler olduğu görüldü.

TKF modelinde kullanılan değişkenlerin kaza frekansına etkileri

Bu model yardımı ile çalışma sahasında oluşan kazaların azaltılması ve güvenliğin artırılmasını görmek amacı ile oluşturulan model, kendi sınırları dikkate alınarak karşılaştırma yapıldı. Tablo 18'de uç değerleri verilen değişkenlere göre kazaların en fazla ve en az olduğu değerler hesaplandı.

DF- TKF

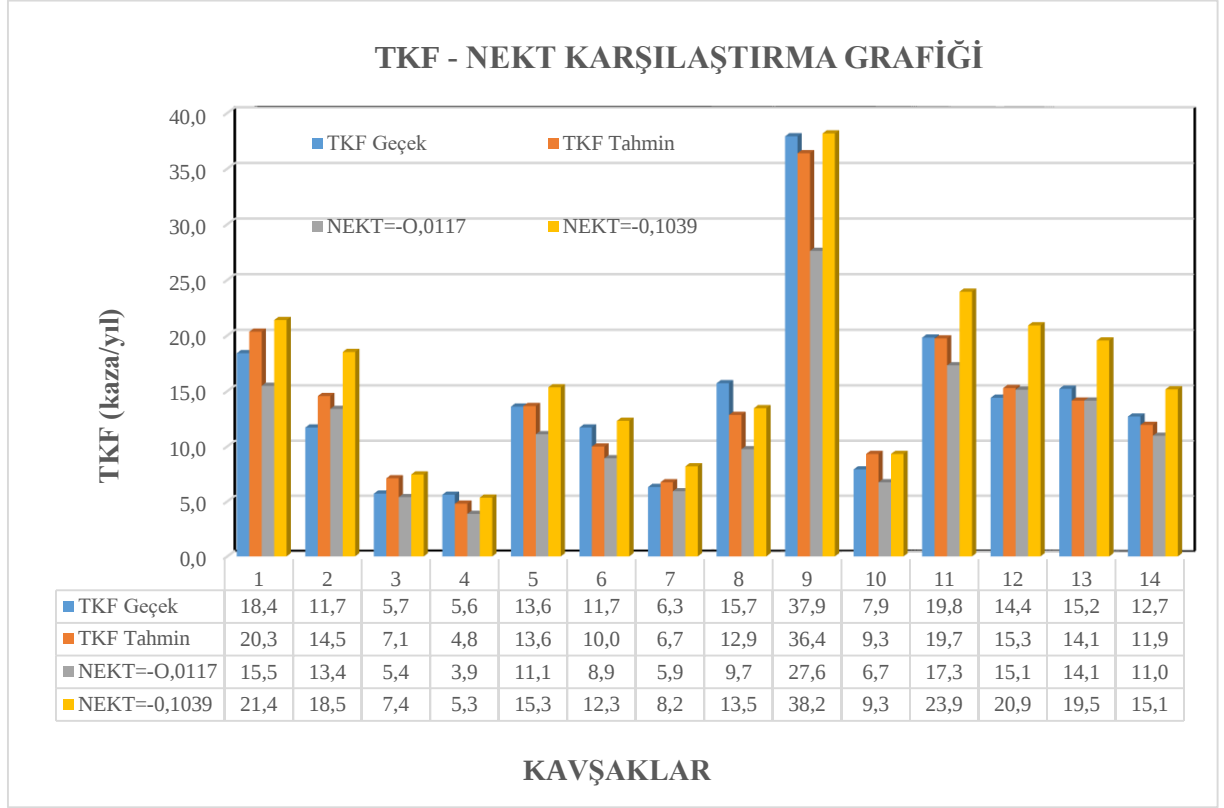


Şekil 31. TKF-DF

DF değişkeni modele “0” ve “3” değerleri girildiğinde ve diğer değişkenler aynı kaldığında çalışma sahasında ortalama kaza frekansındaki değişim Şekil 31’de özetlenmiştir.

NEKT - TKF

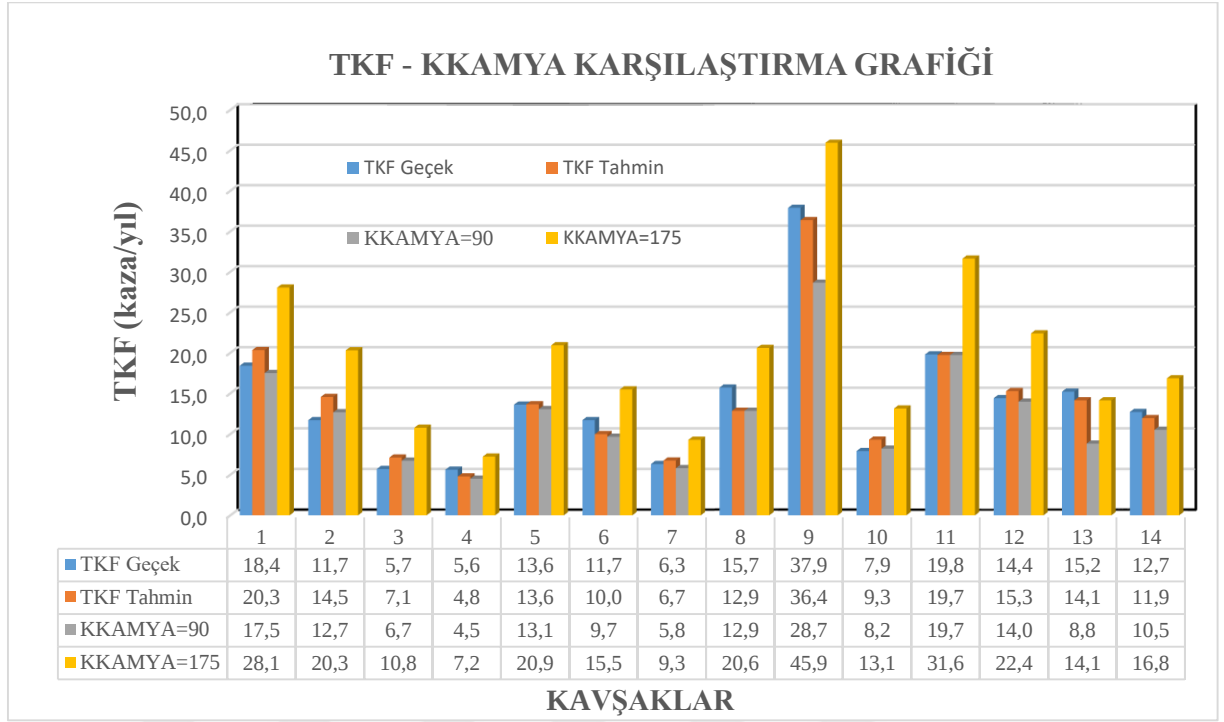
NEKT değişkeni -0,0177 ve -0,1099 değerleri girildiğinde ve diğer değişkenler aynı kaldığında çalışma sahasında ortalama kaza frekansındaki değişim Şekil 32’de özetlendi.



Şekil 32. TKF-NEKT

KKAMYA- TKF

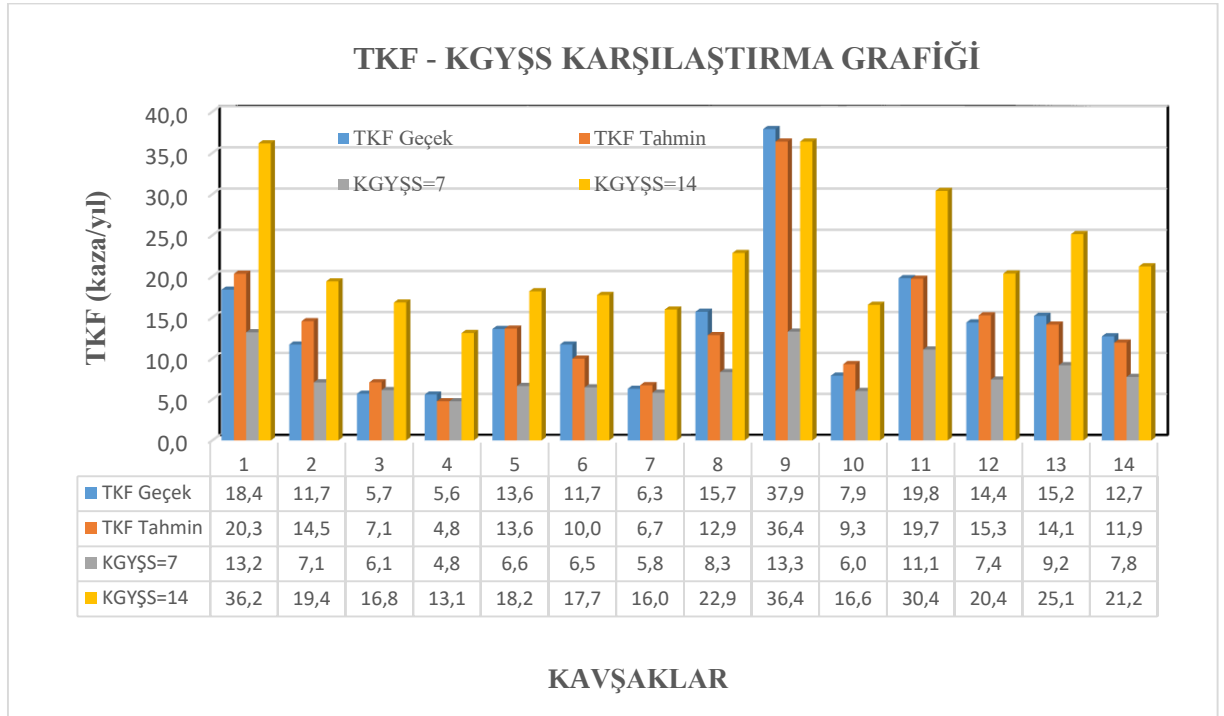
KKAMYA değişkeni 90° ve 175° değerleri girildiğinde ve diğer değişkenler aynı kaldığında çalışma sahasında ortalama kaza frekansındaki değişim Şekil 33’de özetlendi.



Şekil 33. TKF-KKAMYA

KGYS - TKF

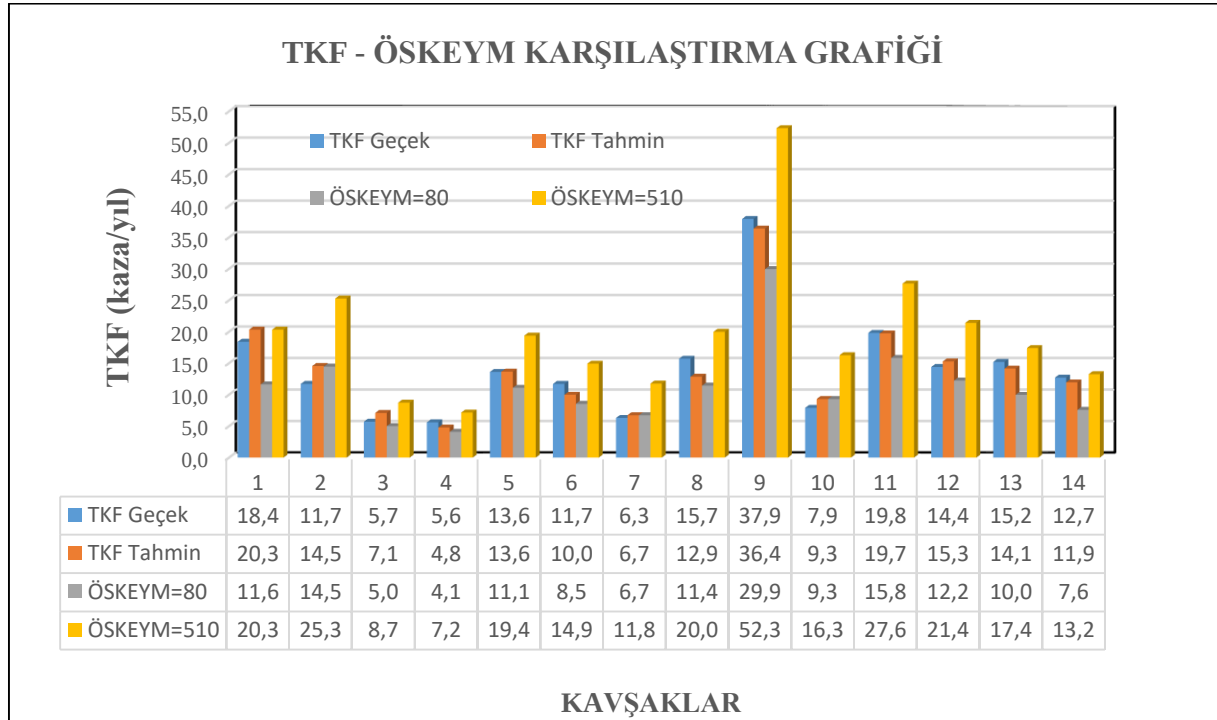
KGYS değişkeni 7 ve 14 değerleri girildiğinde ve diğer değişkenler aynı kaldığında çalışma sahasında ortalama kaza frekansındaki değişim Şekil 34’de özetlendi.



Şekil 34. TKF-KGYS

ÖSKEYM- TKF

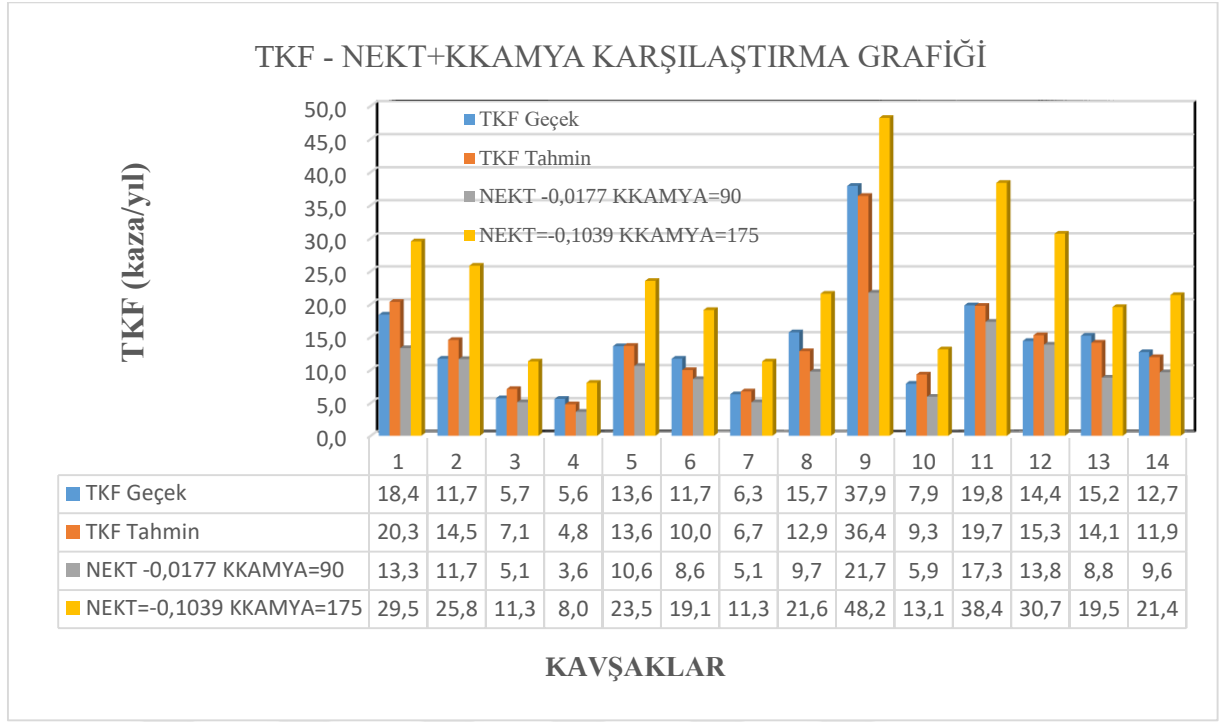
ÖSKEYM değişkeni 80 ve 510 değerleri girildiğinde ve diğer değişkenler aynı kaldığında çalışma sahasında ortalama kaza frekansındaki değişim Şekil 35’de özetlendi.



Şekil 35. TKF-ÖSKEYM

NEKT+KKAMYA+TKF

Bu çalışmada görüşü olumsuz etkileyen geometrik değişkenlerin bileşik etkisi model yardımıyla ortaya konuldu. Buna göre bütün KKAMYA 90° aynı zamanda NEKT -% 1,77 olması durumunda TKF’de meydana gelen azalma hesaplandı. Aynı şekilde NEKT -%10,39 ve KKAMYA 175° olması durumunda toplam kaza frekansının meydana gelen artma hesaplandı. Sonuçlar Şekil 36’da sunuldu.



Şekil 36. TKF-NEKT+ KKAMYA

TKF değişkeni için GPF ‘nin elde edilmesi

GPF ‘yi elde edebilmek için bütün değişkenlerin minimum kaza frekansı çıkaran değerleri kullanılarak, modele kaza tahmini yaptırıldı.

Tablo 20. TKF – KGYAS

Kavşak No	TKF (10 Yıllık Ortalama)	KGYAS (10 Yıllık Ortalama)	AÇIKLAMA
	kaza/yıl	birim oto/gün	
1	3,3	23.804	DF=0, NEKT=-0,0177, KKAMYA=90, KGYSS=7, ÖSKEYM=80 m dir.
2	3,1	14.853	
3	3,1	14.696	
4	3,1	14.744	
5	3,4	28.338	
6	3,2	19.471	
7	3,0	8.618	
8	3,1	14.534	
9	4,4	60.501	
10	3,2	16.737	
11	4,3	57.857	
12	3,0	9.162	
13	3,3	23.044	
14	3,6	21.115	

Yukarıda ortalamaları verilen 140 adet TKF değerlerinin dağılımı gama dağılımına uygundur. Yapılan model denemelerinde gama dağılımı ile anlamlı ilişki bulunarak uygun link fonksiyonu hesaplanmıştır.

Tablo 21. TKF GPF Model

Değişken	Tahmin	Standart Hata	t Değeri	P Değeri
Sabit	1.0237	0.0013075	782.96	0,000
KGYAS	7,5123e-06	4.6044e-08	163.15	0,000

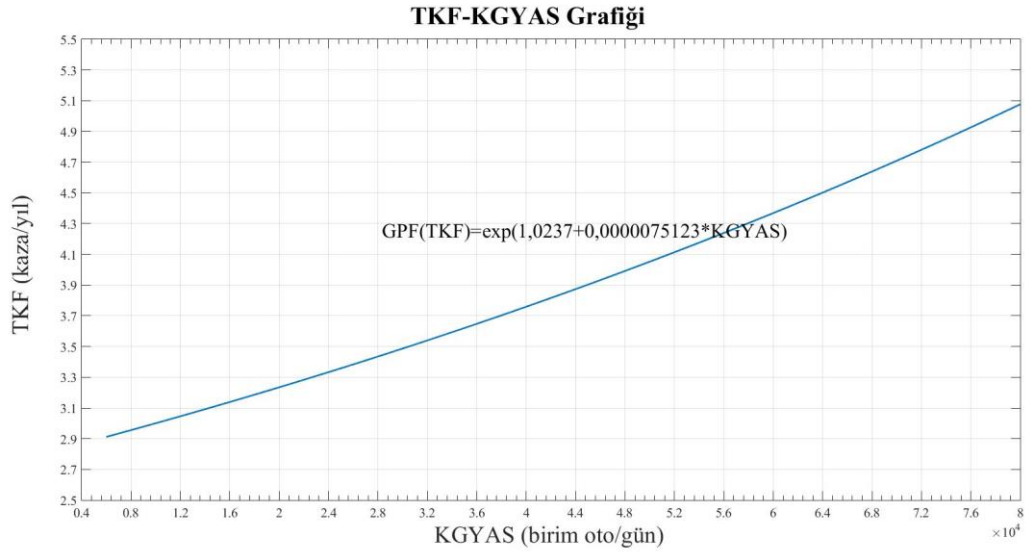
Bu durumda TKF değişkeni için bağımsız değişkenlerin etkisinden arındırılmış GPF aşağıdadır. OHKK değeri 0,01 dir.

$$GPF(TKF) = e^{(1,0237+0,0000075123.KGYAS)} \quad (36)$$

Tablo 22 . TKF-KGYAS Karşılaştırma

Kavşak No	TKF (Model tahmini ortalama)	KGYAS (10 Yıllık Ortalama)	TKF (GPF tahmin edilen ortalama)
	kaza / yıl	birim oto/gün	kaza / yıl
1	3,3	23.804	3,3
2	3,1	14.853	3,1
3	3,1	14.696	3,1
4	3,1	14.744	3,1
5	3,4	28.338	3,4
6	3,2	19.471	3,2
7	3,0	8.618	3,0
8	3,1	14.534	3,1
9	4,4	60.501	4,4
10	3,2	16.737	3,2
11	4,3	57.857	4,3
12	3,0	9.162	3,0
13	3,3	23.044	3,3
14	3,3	21.115	3,3
OHKK			0,01

Şekil 37’de görüldüğü üzere TKF-KGYAS değişkenler arasında devamlı artan ve lineer olmayan bir ilişki vardır.



Şekil 37. TKF için GPF grafiği

Kaza frekansı ile YOGT’nin doğal logaritması arasında doğrusal olmayan bir ilişki vardır (Chen ve Xie 2016). Bu çalışmada Şekil 37’de bulunan grafikte görüldüğü üzere benzer bir ilişki mevcuttur.

MHKF için Oluşturulan Modeller

Bu çalışmada, çalışma alanında 2008-2017 yılları arasında meydana gelen maddi hasarlı kazaları tahmin edebilen bir model oluşturulmuştur.

MHKF poisson model

MHKF için oluşturulan poisson model Tablo 23’de belirtildiği gibidir. ABK değeri 858,17 dir.

Tablo 23. MHKF Poisson Model

Katsayılar	Tahmin	Standart Hata	Z Değeri	P Değeri	
Sabit	-5,108e-01	2,455e-01	-2,081	0,0374	*
KGYAS	9,441e-06	1,758e-06	5,371	7,85e-08	***
NEKT	-5,059e+00	1,083e+00	-4,670	3,01e-06	***
KGYŞS	1,184e-01	2,183e-02	5,425	5,78e-08	***
KKAMYA	3,695e-03	1,496e-03	2,469	0,0135	*
DF	1,754e-01	3,673e-02	4,777	1,78e-06	***
ÖSKEYM	1,250e-03	2,249e-04	5,558	2,73e-08	***

Bu analizde yayılım parametresi 2,18 dir. Bu değer 1 in üzerinde olduğu için aşırı yayılım mevcuttur. Bu neden veriler negatif binom yöntemi ile test edildi. Sonuçlar Tablo 24 sunuldu.

MHKF negatif binom model

Tablo 24. MHKF Negatif Binom Model

Katsayılar	Tahmin	Standart Hata	z Değeri	P Değeri	
Sabit	-5,500e-01	3,680e-01	-1,495	0,135003	
KGYAS	9,733e-06	2,746e-06	3,544	0,000393	***
NEKT	-5,054e+00	1,601e+00	-3,157	0,001595	**
KGYŞS	1,168e-01	3,140e-02	3,718	0,000201	***
KKAMYA	3,915e-03	2,126e-03	1,842	0,065519	
DF	1,828e-01	5,191e-02	3,521	0,000429	***
ÖSKEYM	1,295e-03	3,248e-04	3,986	6,72e-05	***

Negatif binom yöntemi ile yapılan analizin ABK 818,53 dür. Bu değer poisson metodunda bulunan değerden küçüktür. Negatif binom metodunda tahmin etme gücü yüksek bir link fonksiyonu elde edilmiştir. Ancak model anlamsızdır. Bunun en önemli nedeni yüksek varyans düşük biastır. Burada veri setindeki rastgele etkilerin önemli olduğunu söyleyebiliriz. Bu nedenle veri seti GLKM ile analiz edilmiştir. Sonuçlar Tablo 25 belirtilmiştir.

MHKF GLKM model

Tablo 25. MHKF GLKM Model

Katsayılar	Tahmin	Standart Hata	t Değeri	P Değeri	
Sabit	-0,51083	0,24548	-2,0809	0,039361	*
KGYAS	9,4413e-06	1,758e-06	5,3706	3,3991e-07	***
NEKT	-5,0586	1,0832	-4,6698	7,2771e-06	***
KGYŞS	0,11844	0,02183	5,4254	2,6459e-07	***
KKAMYA	0,0036952	0,0014965	2,4692	0,014808	*
DF	0,17544	0,036727	5,5576	1,4373e-07	***
ÖSKEYM	0,00125	0,00022491	5,4254	2,6459e-07	***

Tablo 26. MHKF Model Karşılaştırılması

MHKF Modelleri	Poisson	Negatif Binom	GLKM
ABK	858,17	818,53	858,17
R ²	0,790	0,970	0,936
OHKK	4,44	1,50	1,50
P değeri (<0.05)	0,0374	0,1350	0,0393

MHKF değerini tahmininde GLKM yönteminin anlamlı modeller arasında R² katsayısının yüksek olması ve OHKK değerinin düşük olması nedeniyle tercih edilmiştir.

MHKF kaza tahmin modeli

$$Y = e^{(-0,51083+(9,4413e-6)x_1-5,0586x_2+0,11844x_3+0,0036952x_4+0,17544x_5+0,00125x_6)} \quad (37)$$

Burada;

Y= MHKF (kaza/yıl)

X₁= KGYAS (birim oto/gün)

X₂=NEKT (eğim)

X₃= KGYŞS (adet)

X₄=KKAMYA (derece)

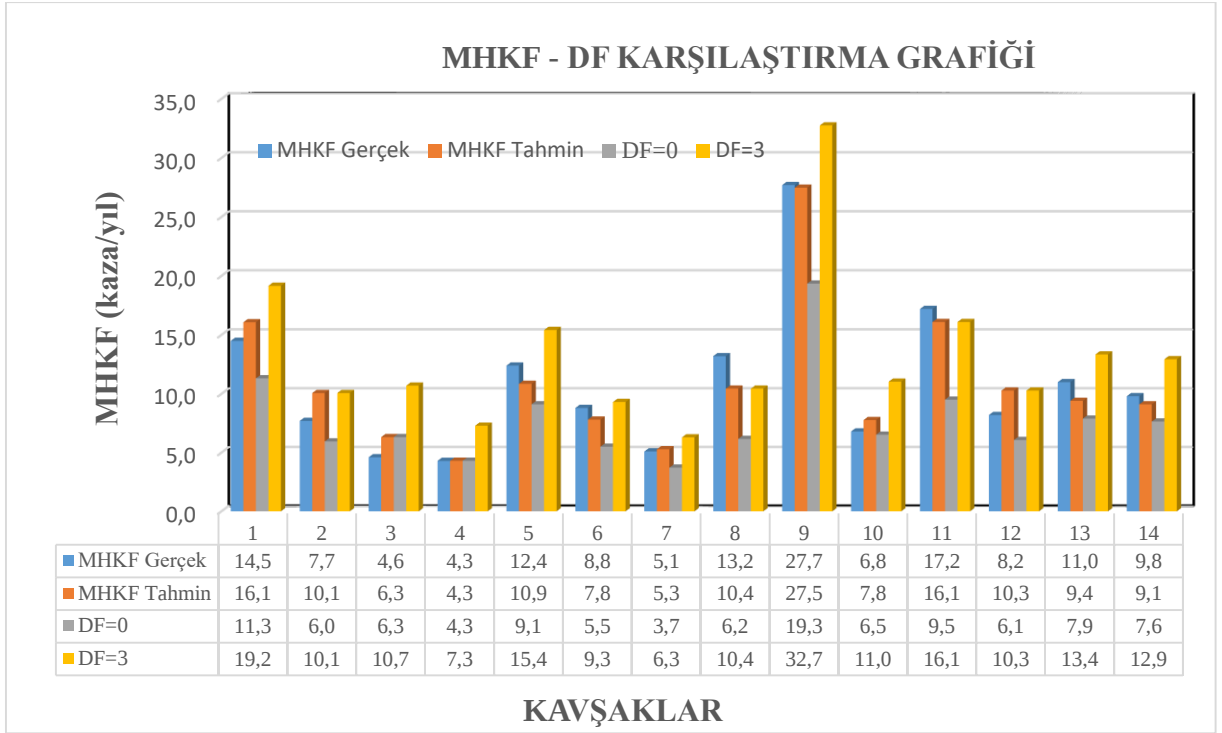
X₅=DF (adet)

X₆=ÖSKEYM (m)

MHKF modelinde kullanılan değişkenlerin kaza frekansına etkileri

Bu model yardımı ile çalışma sahasında oluşan kazaların azaltılması ve güvenliğin artırılmasını görmek amacı ile oluşturulan model, kendi sınırları dikkate alınarak karşılaştırma yapıldı. Tablo 18’de uç değerleri verilen değişkenlere göre kazaların en fazla ve en az olduğu değerler hesaplandı.

DF- MHKF

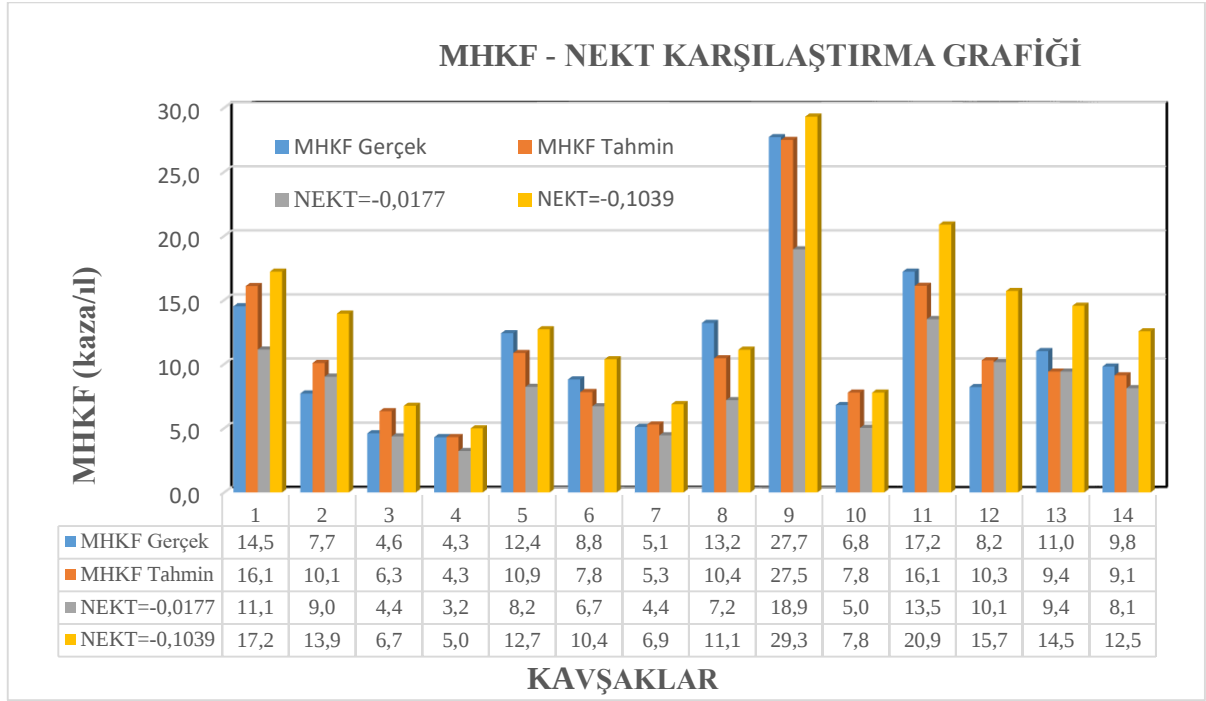


Şekil 38. MHKF-DF

DF değişkeni modele “0” ve “3” değerleri girildiğinde ve diğer değişkenler aynı kaldığında çalışma sahasında ortalama kaza frekansındaki değişim Şekil 38’de özetlenmiştir.

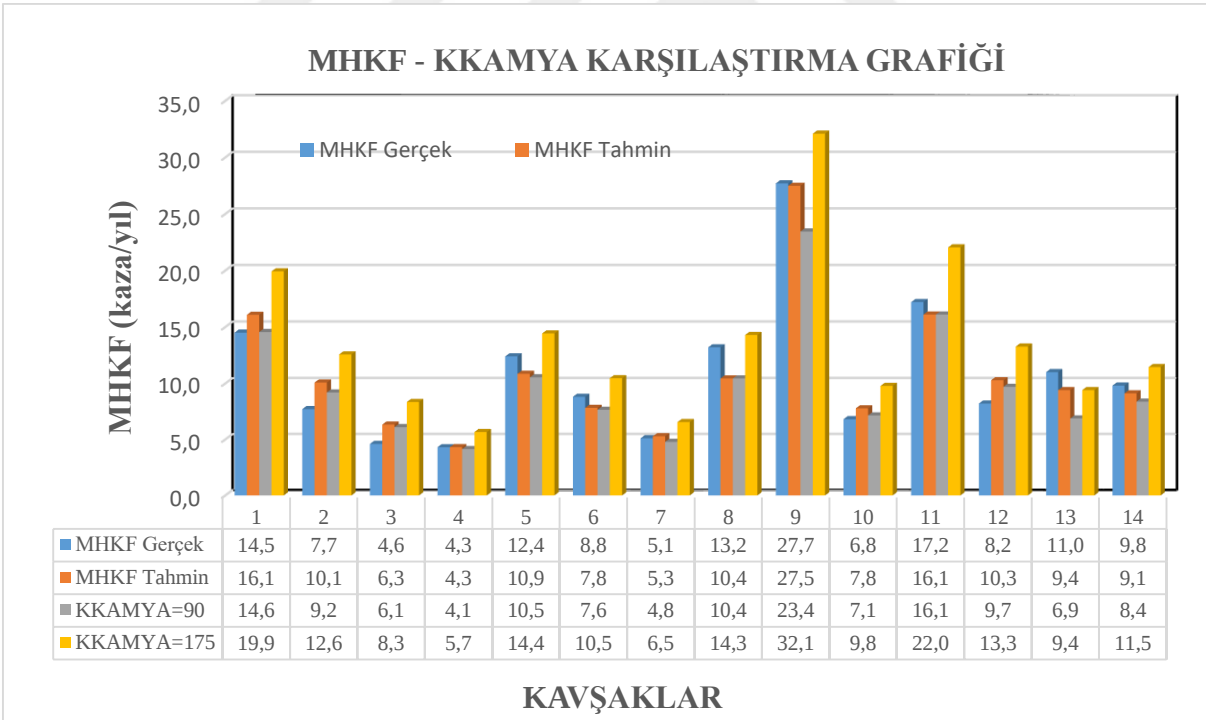
NEKT- MHKF

NEKT değişkeni -0, 0177 ve -0,1099 değerleri girildiğinde ve diğer değişkenler aynı kaldığında çalışma sahasında ortalama kaza frekansındaki değişim Şekil 39’da özetlendi.



Şekil 39. MHKF-NEKT

KKAMYA- MHKF

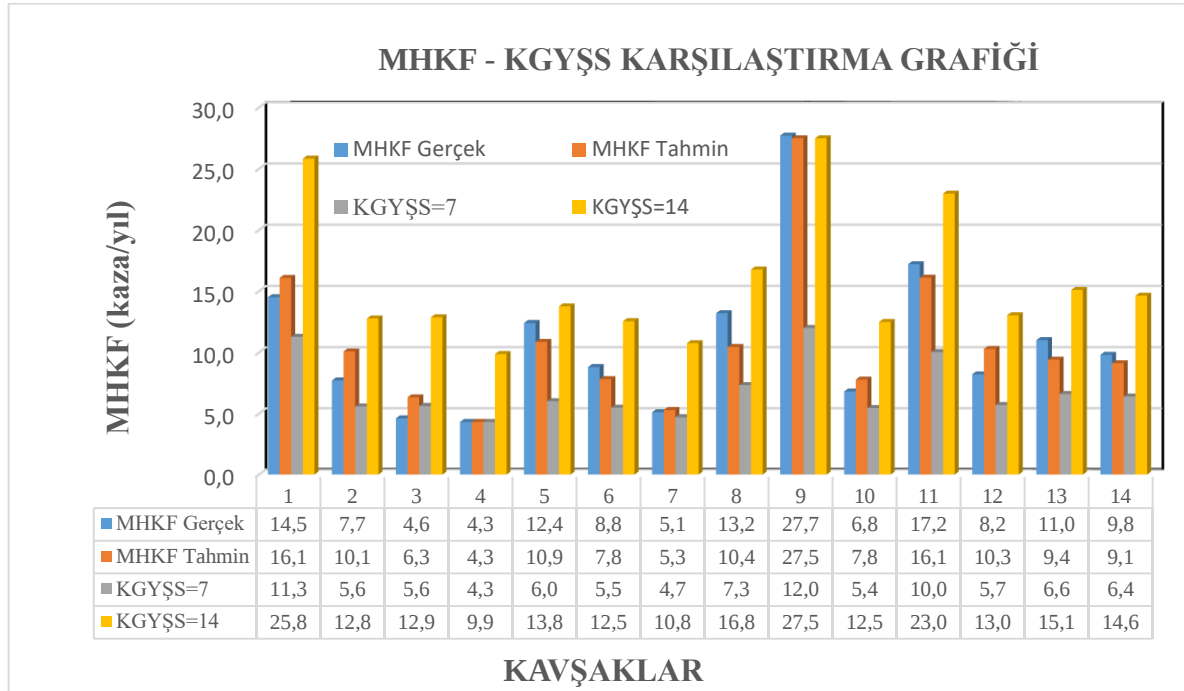


Şekil 40. MHKF-KKAMYA

KKAMYA değişkeni 90° ve 175° değerleri girildiğinde ve diğer değişkenler aynı kaldığında çalışma sahasında ortalama kaza frekansındaki değişim Şekil 40’da özetlendi.

KGYŞS- MHKF

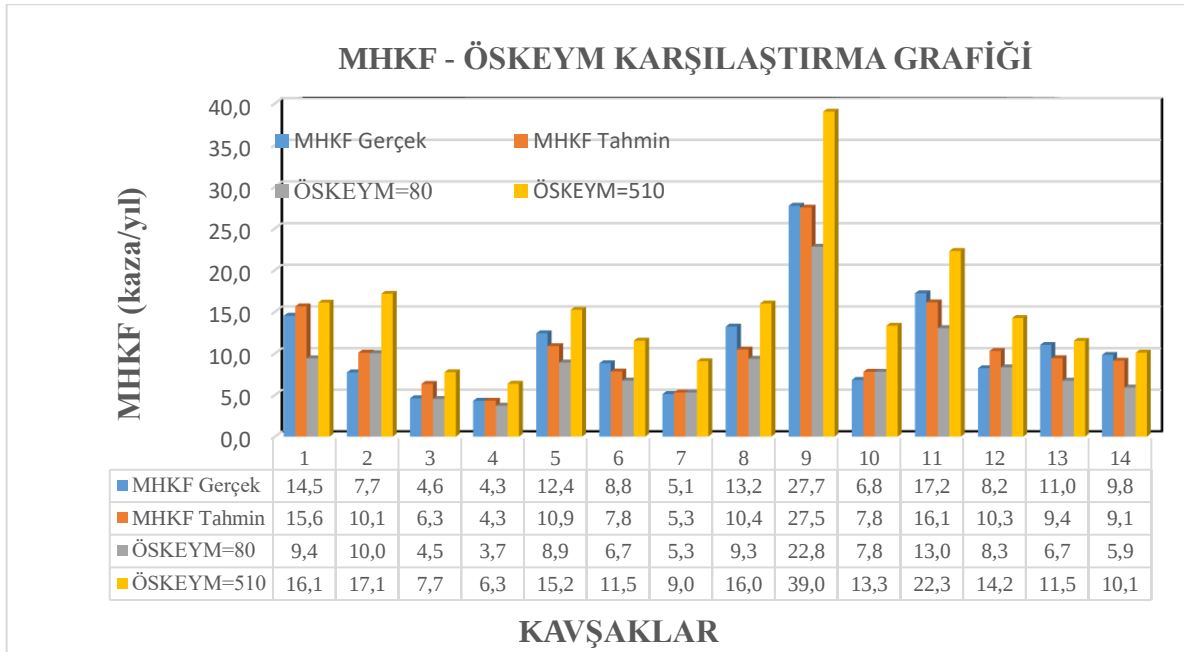
KGYŞS değişkeni 7 ve 14 değerleri girildiğinde ve diğer değişkenler aynı kaldığında çalışma sahasında ortalama kaza frekansındaki değişim Şekil 41’de özetlendi.



Şekil 41. MHKF-KGYŞS

ÖSEYKM- MHKF

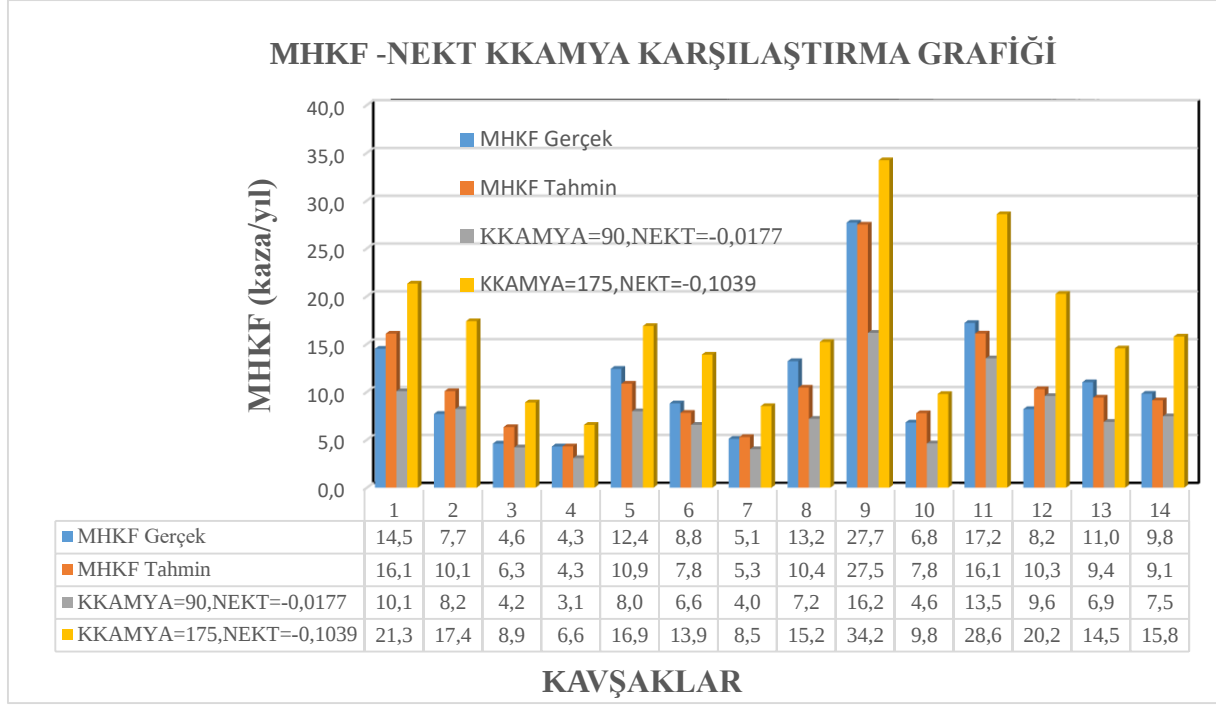
ÖSEYKM değişkeni 80 ve 510 değerleri girildiğinde ve diğer değişkenler aynı kaldığında çalışma sahasında ortalama kaza frekansındaki değişim Şekil 42’de özetlendi.



Şekil 42. MHKF-ÖSEYKM

NEKT-KKAMYA-MHKF

Bu çalışmada görüşü olumsuz etkileyen geometrik değişkenlerin bileşik etkisi model yardımıyla ortaya konuldu. Buna göre bütün KKAMYA =90° aynı zamanda NEKT= -0,0177 olması durumunda MHKF’de meydana gelen azalma hesaplandı. Aynı şekilde NEKT= -0,1039 ve KKAMYA =175° olması durumunda MHKF’da meydana gelen artma hesaplandı. Sonuçlar Şekil 43’de sunuldu.



Şekil 43. MHKF-KKAMYA-NEKT

MHKF değişkeni için GPF’nin elde edilmesi

GPF ’yi elde edebilmek için bütün değişkenlerin minimum kaza frekansı çıkaran değerleri kullanılarak, modele kaza tahmini yaptırıldı.

Tablo 27. MHKF – KGYAS

Kavşak No	MHKF	KGYAS	AÇIKLAMA
	(10 Yıllık Ortalama)	(10 Yıllık Ortalama)	
	kaza / yıl	birim oto/gün	
1	2,9	23.804	DF=0, NEKT=-0,0177, KKAMYA=90, KGYSS=7, ÖSKEYM=80 m dir.
2	2,7	14.853	
3	2,7	14.696	
4	2,7	14.744	
5	3,0	28.338	
6	2,8	19.471	
7	2,5	8.618	
8	2,7	14.534	

Tablo 27. (Devamı)

9	4,1	60.501
10	2,7	16.737
11	4,0	57.857
12	2,5	9.162
13	2,9	23.044
14	2,8	21.115

Yukarıda ortalamaları verilen 140 adet MHKF değerlerinin dağılımı gama dağılımına uygundur. Yapılan model denemelerinde gama dağılımı ile anlamlı ilişki bulunarak uygun link fonksiyonu hesaplanmıştır.

Tablo 28. MHKF GPF Model

Değişken	Tahmin	Standart Hata	T Değeri	P Değeri
Sabit	0,84165	0,0015765	533,88	0,000
KGYAS	9,3913e-06	5,5514e-08	169,17	0,000

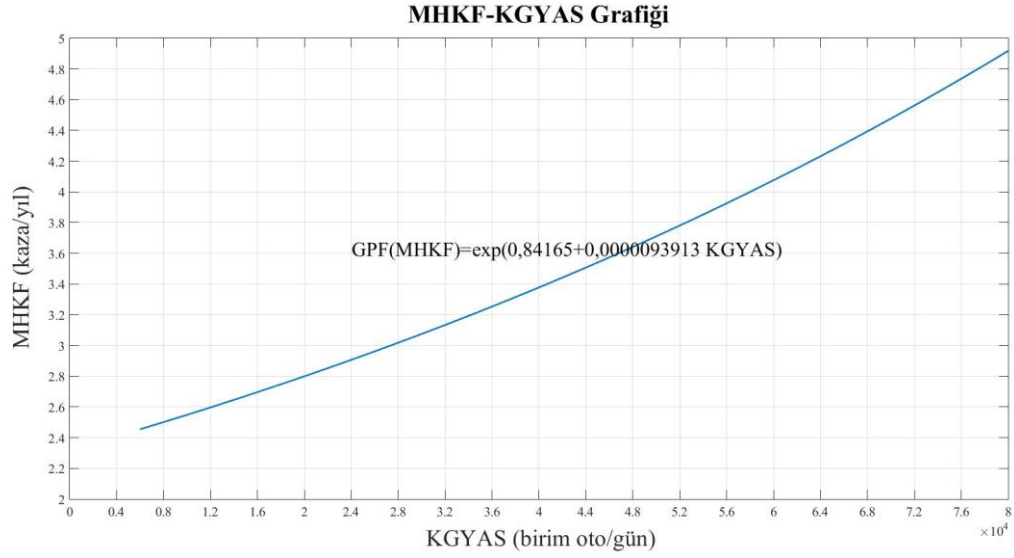
Bu durumda MHKF değişkeni için bağımsız değişkenlerin etkisinden arındırılmış GPF aşağıdadır. OHKK değeri 0,01 dir.

$$GPF(MHKF) = e^{(0,84165+0,0000093913.KGYAS)} \quad (38)$$

Tablo 29. MHKF-KGYAS Karşılaştırma

Kavşak No	MHKF (Model tahmini ortalama)	KGYAS (10 Yıllık Ortalama)	MHKF (GPF tahmin edilen ortalama)
	Kaza / Yıl	Birim/oto	Kaza / Yıl
1	2,9	23.804	2,9
2	2,7	14.853	2,7
3	2,7	14.696	2,7
4	2,7	14.744	2,7
5	3,0	28.338	3,0
6	2,8	19.471	2,8
7	2,5	8.618	2,5
8	2,7	14.534	2,7
9	4,1	60.501	4,1
10	2,7	16.737	2,7
11	4,0	57.857	4,0
12	2,5	9.162	2,5
13	2,9	23.044	2,9
14	2,8	21.115	2,8
OHKK			0,01

Şekil 44’de görüldüğü üzere MHKF-KGYAS değişkenler arasında devamlı artan ve lineer olmayan bir ilişki vardır.



Şekil 44. MHKF – KGYAS Grafiği

ŞKF için Tahmin Modeli

Bu çalışmada, çalışma alanında 2008-2017 yılları arasında meydana gelen şiddetli kazaları tahmin edebilen bir model oluşturulmuştur.

ŞKF poisson model

ŞKF için oluşturulan poisson model Tablo 30’da belirtildiği gibidir. ABK 576,49 dur.

Tablo 30. ŞKF Poisson Model

Katsayılar	Tahmin	Standart Hata	Z Değeri	P Değeri	
Sabit	-2,827e+00	1,972e-03	-5,813	6,15e-09	***
KGYAS	1,194e-05	4,428e-06	2,696	0,007022	**
YOGT Tali	-9,291e-05	2,716e-05	-3,421	0,000624	***
KGYŞS	2,385e-01	4,123e-02	5,786	7,21e-09	***
KKAMYA	6,732e-03	2,703e-03	2,491	0,012733	*
DF	2,486e-01	7,286e-02	3,413	0,000644	***
ÖSKEYM	1,972e-03	4,631e-04	4,257	2,07e-05	***

Bu analizde yayılım parametresi 1,55 dir. Bu değer 1 in üzerinde olduğu için aşırı yayılım mevcuttur. Bu neden veriler negatif binom yöntemi ile test edildi. Sonuçlar Tablo 31’de sunuldu.

ŞKF negatif binom model

Tablo 31. ŞKF Negatif Binom Model

Katsayılar	Tahmin	Standart Hata	Z Değeri	P Değeri	
Sabit	-2,746e+00	5,435e-01	-5,053	0,000000	***
KGYAS	1,192e-05	5,268e-06	2,262	0,023726	*
YOGT Tali	-9,878e-05	3,160e-05	-3,126	0,001774	**
KGYŞS	2,342 e-01	4,984e-02	4,700	0,000002	***
KKAMYA	6,499e-03	3,211e-03	2,024	0,042979	*
DF	2,558e-03	8,333e-02	3,070	0,002144	**
ÖSKEYM	2,049e-03	5,395e-04	3,797	0,000146	***

Negatif binom model örnek kavşaklardaki kazaları tahmin etme gücü poisson modelle yakın kabiliyettedir. Veri seti rastgele etkileri de dikkate alan GLKM yöntemi ile de test edildi. Sonuçlar aşağıda belirtildi.

ŞKF GLKM Model

Tablo 32. ŞKF GLKM Model

Katsayılar	Tahmin	Standart Hata	t Değeri	P Değeri	
Sabit	-2,7476	0,49646	-5,5243	1,678e-07	***
KGYAS	1,2056e-05	4,4302e-06	2,7212	0,0073745	**
YOGT Tali	-9,2166e-05	2,6787e-05	-3,4407	0,00077569	***
KGYŞS	0,22889	0,041653	5,4952	1,9193e-07	***
KKAMYA	0,0069719	0,002661	2,62	0,0098153	**
DF	0,25737	0,072625	3,5438	0,00054474	***
ÖSKEYM	0,0018789	0,00045825	4,1003	7,141e-05	***

ŞKF bağımlı değişkenin tahmininde üç modelde birbirine çok yakın sonuçlar vermiştir. Burada R² değeri en yüksek olan ve rastgele etkileri dikkate alan GLKM ile hesaplanan link fonksiyonu tahmin modeli olarak seçilmiştir.

Tablo 33 ŞKF model karşılaştırması

SKF Modelleri	Poisson	Negatif Binom	GLKM
ABK	576,49	570,55	576,35
R ²	0,960	0,960	0,962
OHKK	0,47	0,49	0,49
P değeri (<0.05)	6,15E-09	4,35e-07	1,678E-07

ŞKF kaza tahmin modeli

$$Y = e^{(-2,7476+(1,2056e-5)x_1-(9,2166e-05)x_2+0,22889x_3+0,0069719x_4+0,25737x_5+0,0018789x_6)} \quad (39)$$

Burada;

Y= ŞKF (kaza/yıl)

X₁= KGYAS (birim oto/gün)

X₂=YOGT Tali (birim oto/gün)

X₃= KGYŞS (adet)

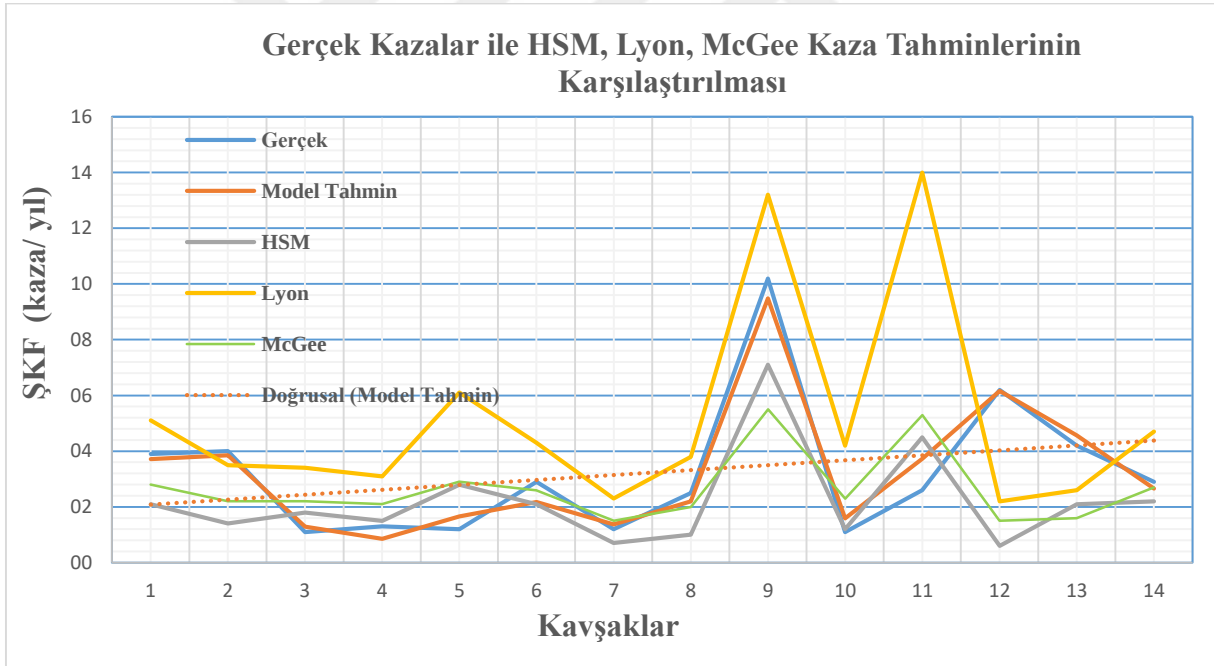
X₄=KKAMYA (derece)

X₅=DF (adet)

X₆=ÖSKEYM (m)

Lyon, Mcgee, HSM modeli ile ŞKF tahmin modelinin karşılaştırılması

Çalışma sahasında meydana gelen şiddetli kazalar ile diğer modellerle tahmin edilen kaza frekansları Şekil 45’de karşılaştırılmıştır.



Şekil 45. Lyon, McGee, HSM modeli ile çalışma sahasında olan şiddetli kazaların karşılaştırılması

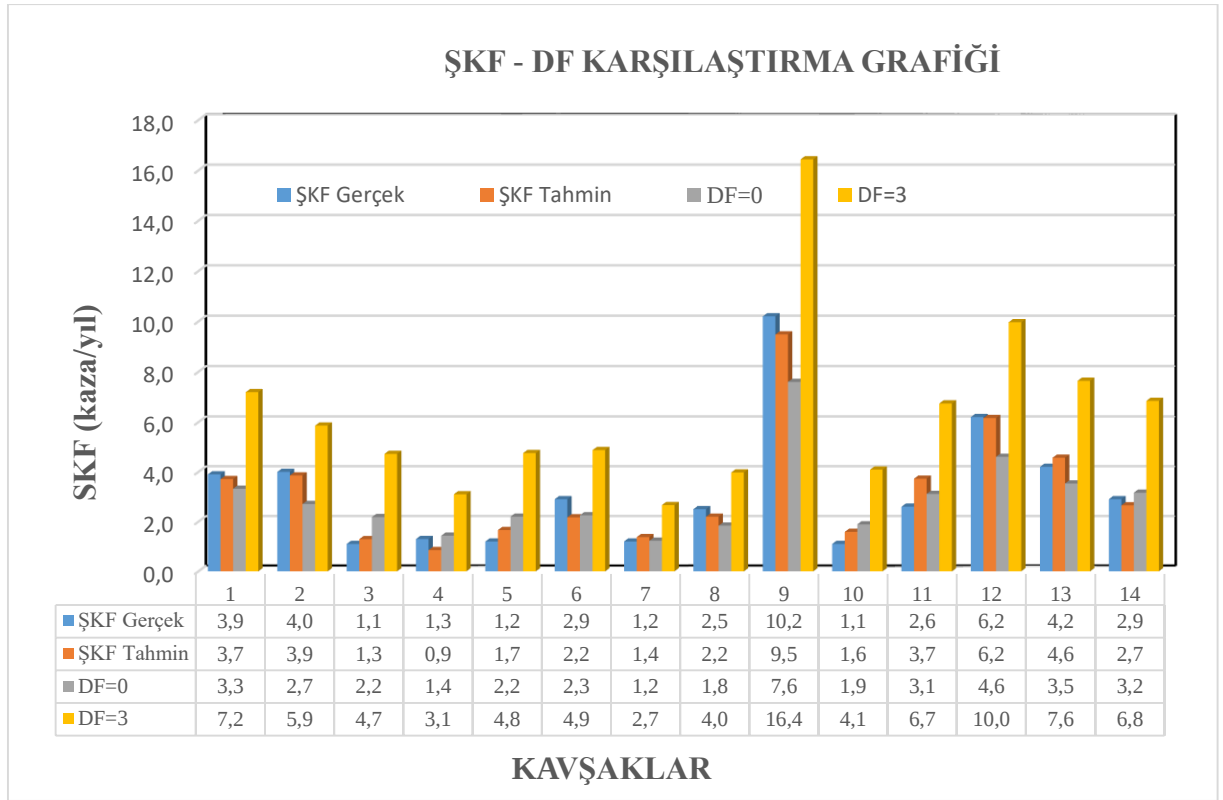
Tablo 34. Lyon, McGee, HSM, Model ve Gerçek Şiddetli Kazaların Karşılaştırılması

Kavşak No	2008-2017 yılları arasındaki ortalama ŞKF (kaza/yıl)	Poisson regresyon modelde tahmin edilen ŞKF (Kaza/Yıl)	HSM 2010 tahmin edilen ŞKF (Kaza/Yıl)	Lyon modeli ile tahmin edilen ŞKF (Kaza/Yıl)	McGee modeli ile tahmin edilen ŞKF (Kaza/Yıl)
1	3,9	3,7	2,1	5,1	2,8
2	4	3,9	1,4	3,5	2,2
3	1,1	1,3	1,8	3,4	2,2
4	1,3	0,9	1,5	3,1	2,1
5	1,2	1,7	2,8	6,1	2,9
6	2,9	2,2	2,1	4,3	2,6
7	1,2	1,4	0,7	2,3	1,5
8	2,5	2,2	1,0	3,8	2
9	10,2	9,5	7,1	13,2	5,5
10	1,1	1,6	1,2	4,2	2,3
11	2,6	3,7	4,5	14	5,3
12	6,2	6,2	0,6	2,2	1,5
13	4,2	4,6	2,1	2,6	1,6
14	2,9	2,7	2,2	4,7	2,7
OHKK		0,49	2,2	3,9	2,2

Modelde kullanılan değişkenlerin ŞKF etkileri

Bu model yardımı ile çalışma sahasında oluşan kazaların azaltılması ve güvenliğin artırılmasını görmek amacı ile oluşturulan model, kendi sınırları dikkate alınarak karşılaştırma yapıldı. Tablo 18’de uç değerleri verilen değişkenlere göre kazaların en fazla ve en az olduğu değerler hesaplandı.

DF- ŞKF

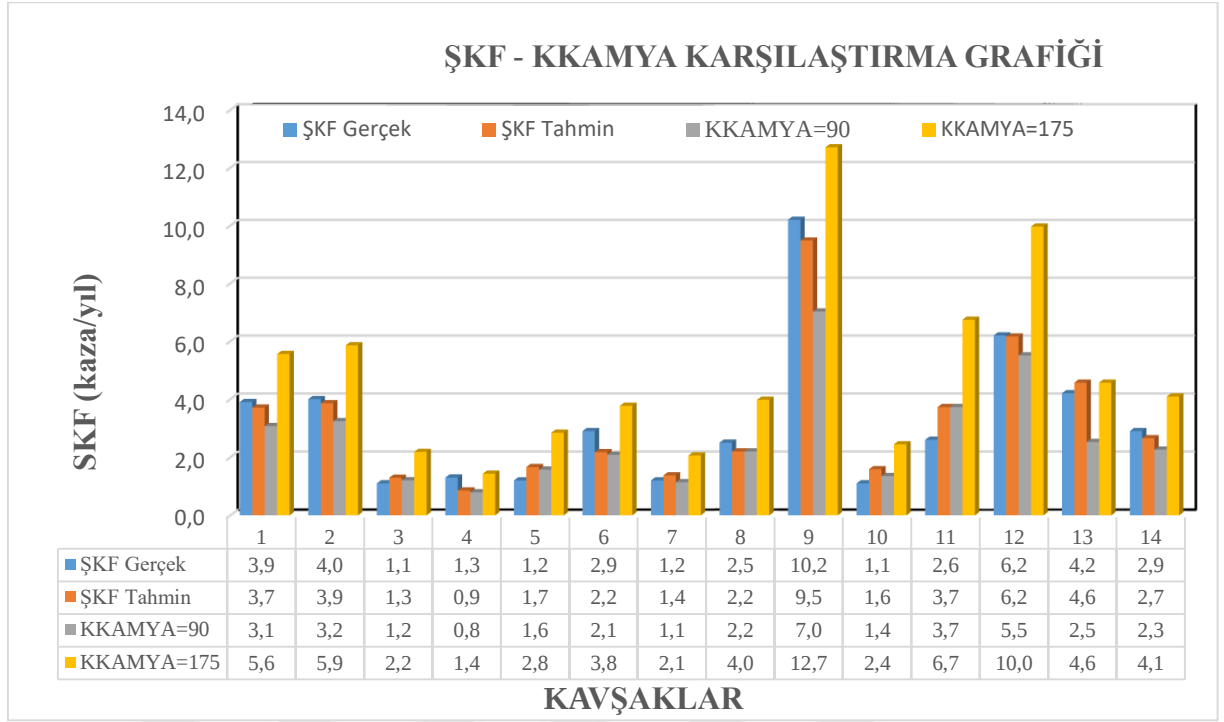


Şekil 46. ŞKF-DF

DF değişkeni modele “0” ve “3” değerleri girildiğinde ve diğer değişkenler aynı kaldığında çalışma sahasında ortalama kaza frekansındaki değişim Şekil 46’da özetlenmiştir.

KKAMYA- ŞKF

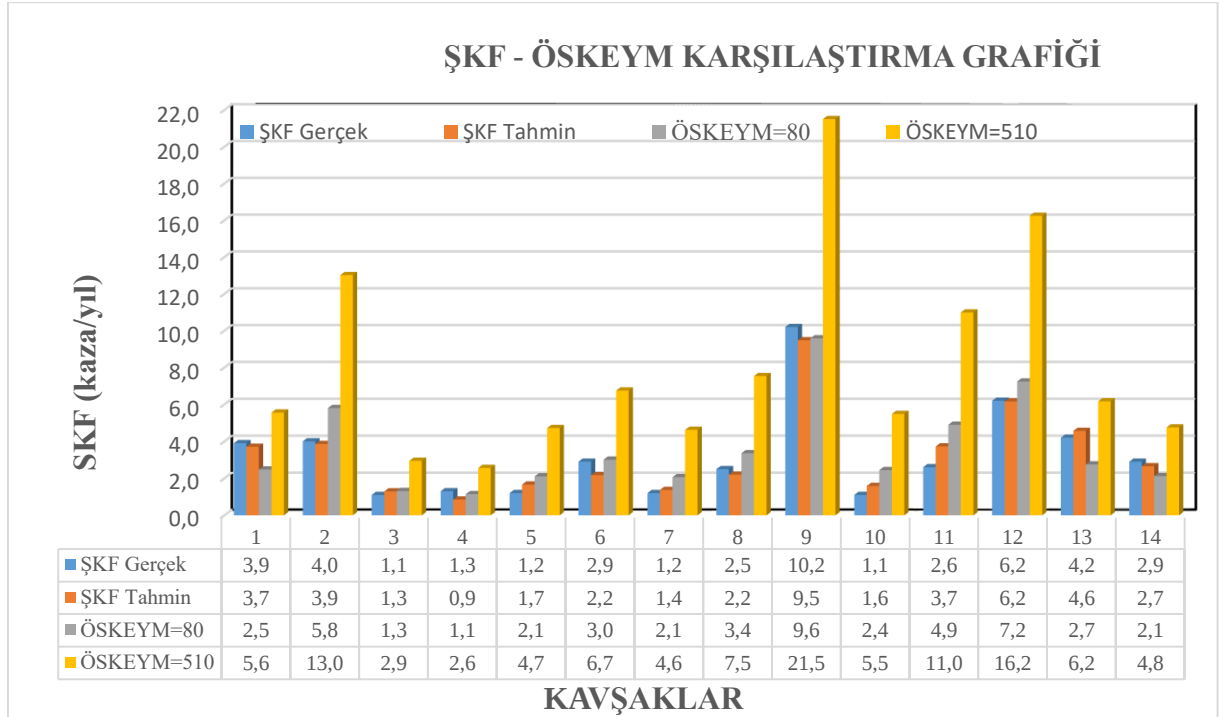
KKAMYA değişkeni modele “90” ve “175” değerleri girildiğinde ve diğer değişkenler aynı kaldığında çalışma sahasında ortalama kaza frekansındaki değişim Şekil 47’de özetlenmiştir.



Şekil 47. ŞKF-KKAMYA

ÖSKEYM- ŞKF

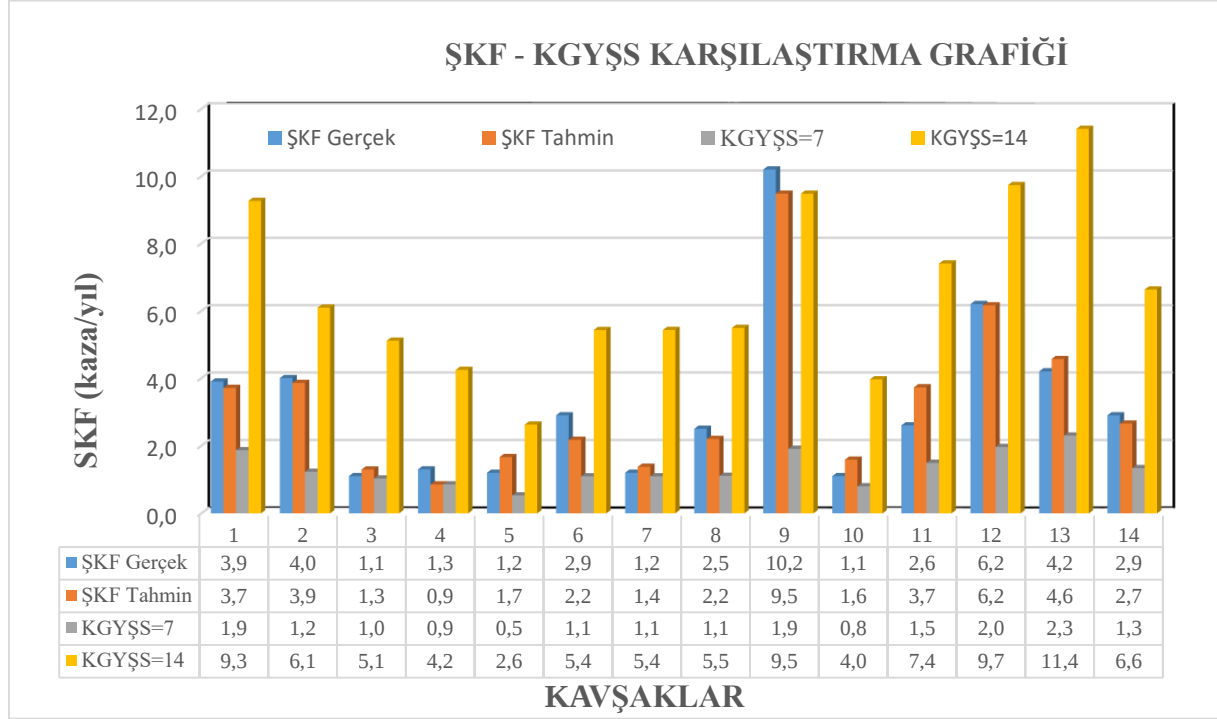
ÖSKEYM değişkeni modele “80” ve “510” değerleri girildiğinde ve diğer değişkenler aynı kaldığında çalışma sahasında ortalama kaza frekansındaki değişim Şekil 48’de özetlenmiştir.



Şekil 48. ŞKF-ÖSKEYM

KGYS- SKF

KGYS değişkeni modele “7” ve “14” değerleri girildiğinde ve diğer değişkenler aynı kaldığında çalışma sahasında ortalama kaza frekansındaki değişim şekil 49’da özetlenmiştir.



şekil 49. SKF-KGYS

SKF değişkeni için GPF ’nin elde edilmesi

GPF ’yi elde edebilmek için bütün değişkenlerin minimum kaza frekansı çıkaran değerleri kullanılarak, modele kaza tahmini yaptırıldı.

Tablo 35. SKF – KGYS-YOGT Tali

Kavşak No	SKF (Ortalama)	KGYS (10 Yıllık Ortalama)	YOGT Tali (10 Yıllık Ortalama)	AÇIKLAMA
	kaza / yıl	birim oto/gün	birim oto/gün	
1	0,4	23.804	8.780	
2	0,5	14.853	6.116	
3	0,6	14.696	3.887	
4	0,6	14.744	2.919	
5	0,3	28.338	13.380	
6	0,5	19.471	6.086	
7	0,5	8.618	3.799	
8	0,4	14.534	7.048	

DF=0, KKAMYA=90, KGYS=7, SKEYM=80 m dir.

Tablo 35. (Devamı)

9	0,6	60.501	8.801
10	0,5	16.737	5.186
11	0,5	57.857	11.095
12	0,6	9.162	2.957
13	0,6	23.044	4.727
14	0,5	21.115	7.320

Yukarıda ortalamaları verilen 140 adet ŞKF değerlerinin dağılımı gama dağılımına uygundur. Yapılan model denemelerinde gama dağılımı ile anlamlı ilişki bulunarak uygun link fonksiyonu hesaplanmıştır.

Tablo 36. ŞKF GPF Model

Değişken	Tahmin	Standart Hata	T Değeri	P Değeri
Sabit	-0,37157	0,011771	-31,566	1,0003e-64
KGYAS	1,1447e-05	1.1447e-05	26,185	3,5091e-55
YOGT Tali	-8,974e-05	-8.974e-05	-40,385	5,812e-78

Bu durumda ŞKF değişkeni için bağımsız değişkenlerin etkisinden arındırılmış GPF aşağıdadır. OHKK değeri 0,01 dir.

$$GPF(\text{ŞKF}) = e^{(-0,37157 + 1,1447e-05.KGYAS) - 8,974e-05.YOGTTali} \quad (40)$$

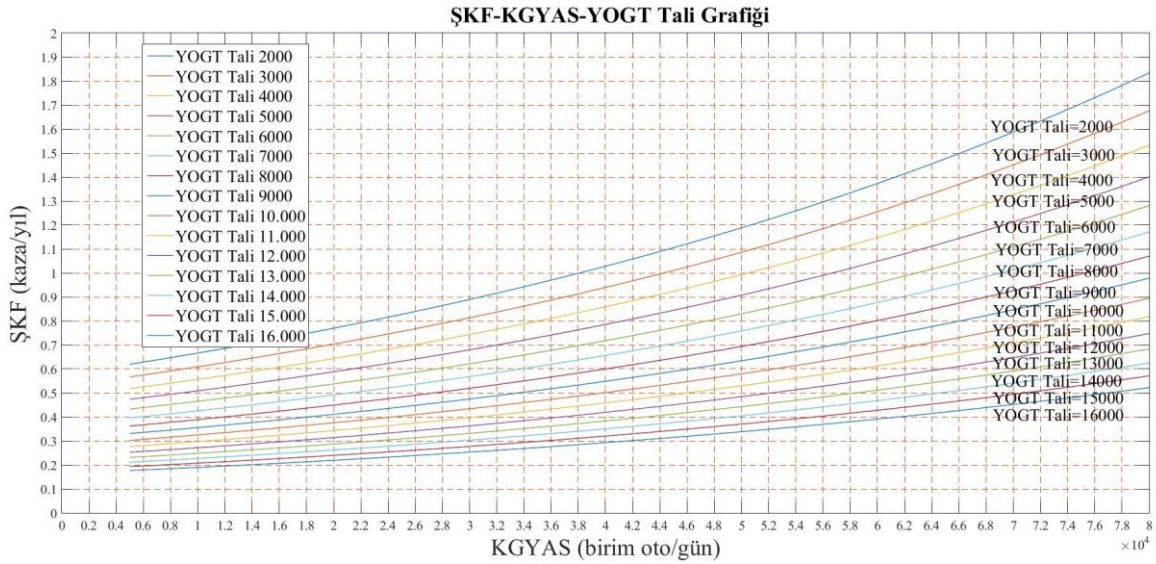
Tablo 37. ŞKF-KGYAS Karşılaştırma

Kavşak No	ŞKF (Model tahmini ortalama)	KGYAS (10 yıllık ortalama)	YOGT Tali (10 yıllık ortalama)	ŞKF (GPF tahmin edilen ortalama)
	kaza / yıl	birim oto/gün	birim oto/gün	kaza / yıl
1	0,4	23.804	8.780	0,4
2	0,5	14.853	6.116	0,5
3	0,6	14.696	3.887	0,6
4	0,6	14.744	2.919	0,6
5	0,3	28.338	13.380	0,3
6	0,5	19.471	6.086	0,5
7	0,5	8.618	3.799	0,5

Tablo 37. (Devamı)

8	0,4	14.534	7.048	0,4
9	0,6	60.501	8.801	0,6
10	0,5	16.737	5.186	0,5
11	0,5	57.857	11.095	0,5
12	0,6	9.162	2.957	0,6
13	0,6	23.044	4.727	0,6
14	0,5	21.115	7.320	0,5
OHKK				0,00

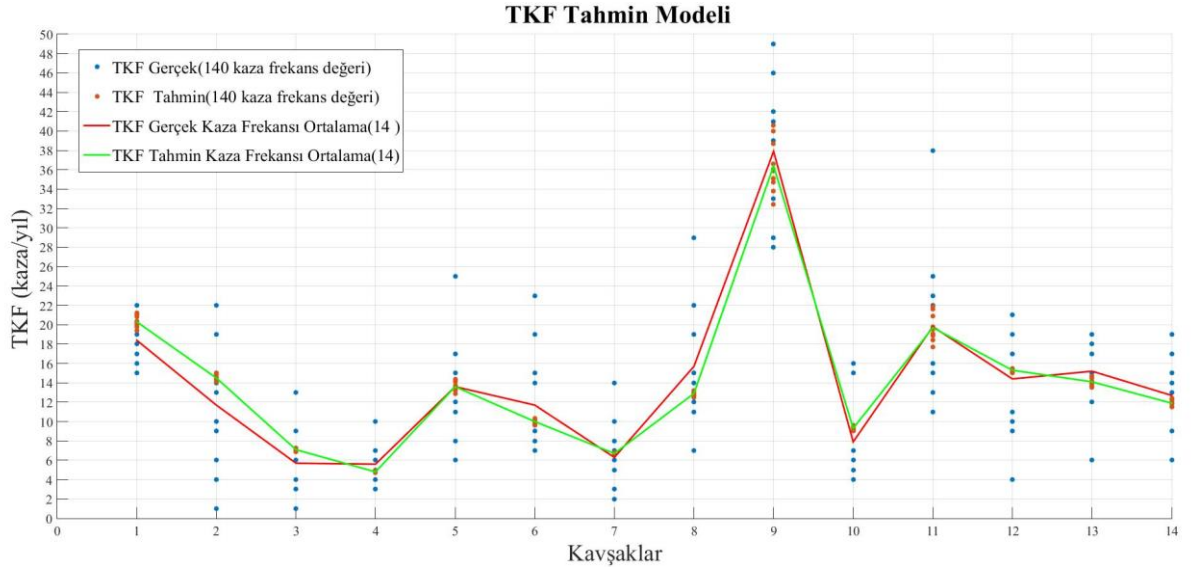
Şekil 50’de görüldüğü üzere ŞKF-KGYAS değişkenler arasında devamlı artan ve lineer olmayan bir ilişki vardır.

**Şekil 50. ŞKF – KGYAS Grafiği**

Bu çalışmada şiddetli kazaların KGYAS, YOGT Tali ile anlamlı ilişkileri bulundu. KGYAS ile YOGT Tali arasındaki fark açıldıkça şiddetli kaza sayısı artmaktadır. Bu durum Şekil 50’ de belirtildi.

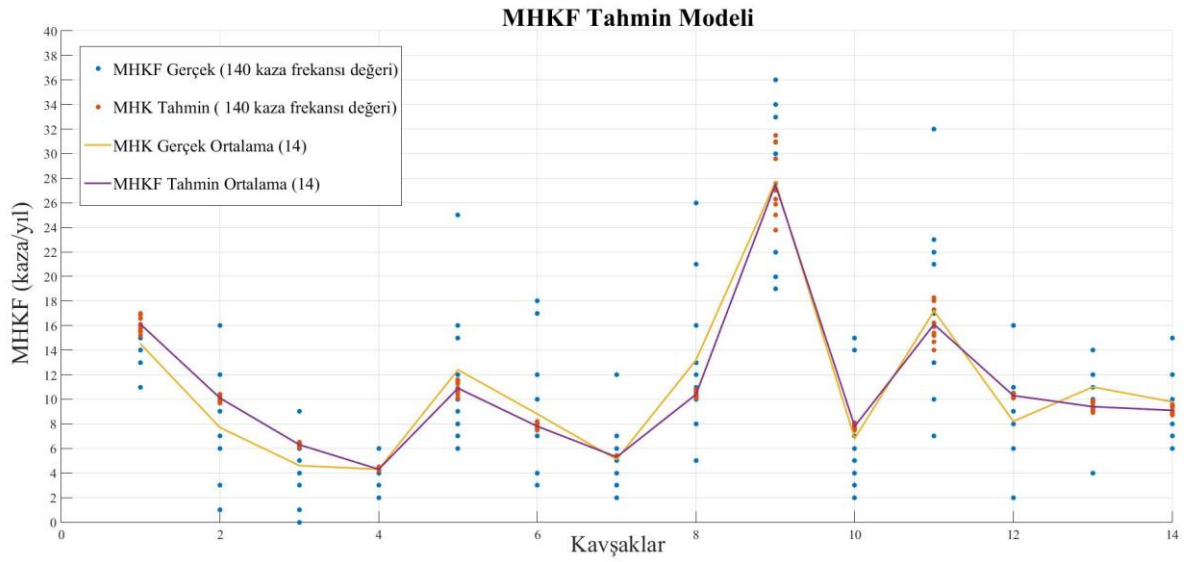
Kaza Tahmin Modelinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada on yıllık kaza frekans ortalamalarının en az hata ile tahmin edilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda modeller oluşturulmuştur. Şekil 51’deki grafikte görüldüğü üzere gerçek kaza frekanslarındaki dağılım daha geniş alanda iken tahmin değerleri ortalamanın etrafında yığılmaktadır. Burada gerçek ve tahmin ortalamaların birbirine yakın olması hedeflenmiştir. Kabul edilebilir hassasiyette bu başarılmıştır.

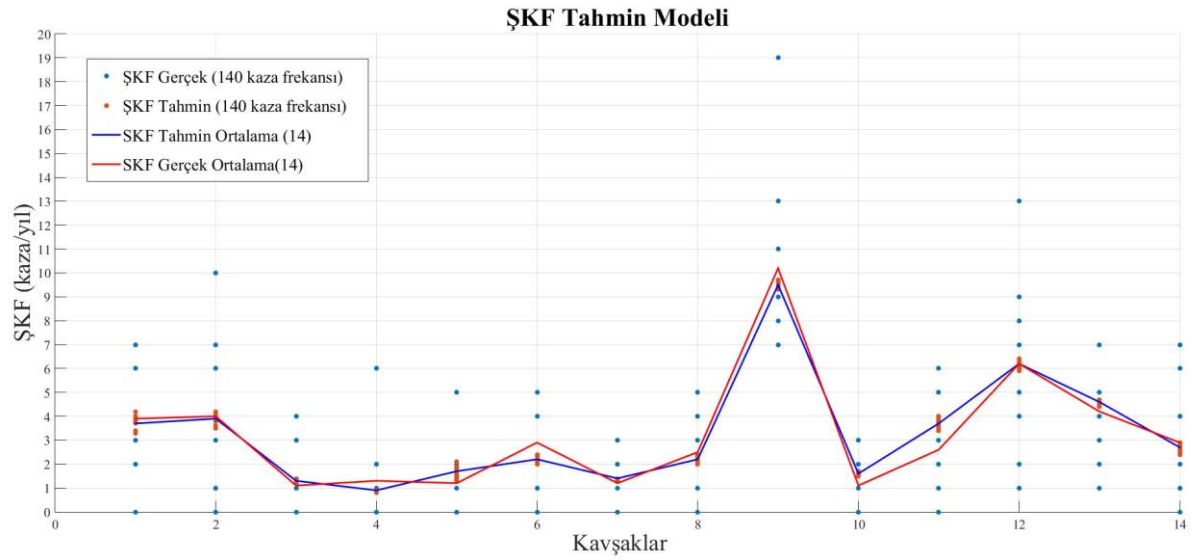


Şekil 51. TKF tahmin modeli

Benzer durum MHKF VE ŞKF içinde geçerlidir (Şekil 52,Şekil 53).



Şekil 52. MHKF tahmin modeli



Şekil 53. ŞKF tahmin modeli

Kaza Tahmin Modeli için KDF 'lerinin Hesaplanması

Bu çalışmada 35,37,39 nolu eşitlikte bulunan link fonksiyonlarından, bağımsız değişkenlerin kaza frekansları üzerine olan etkileri için, KDF değerleri hesaplanmıştır (Gross, 2010). Çalışmada her kaza şiddetini hesaplayabilen ve trafik değişkenleri haricinde bağımsız değişkenlerin kazalar üzerine olan etkileri hesaplandı. Bu hesaplarda Tablo 38'de görülen modellerden elde edildi.

Tablo 38. Kaza Tahmin Modelleri

Kaza Şiddeti	Model
TKF _M	$e^{(-0,655+(7,517e-6)KGYAS-3,758.NEKT+0,144.KGYSS+0,005553.KKAMYA+0,1983.DF+0,001298.ÖSKEYM)}$
MHKF _M	$e^{(-0,51083+(9,4413e-6)KGYAS-5,0586.NEKT+0,11844.KGYSS+0,0036952.KKAMYA+0,17544.DF+0,00125.ÖSKEYM)}$
ŞKF _M	$e^{(-2,7476+(1,2056e-5)KGYAS-(9,2166e-05)YOGT TALİ+0,22889.KGYSS+0,0069719.KKAMYA+0,25737.DF+0,0018789.ÖSKEYM)}$

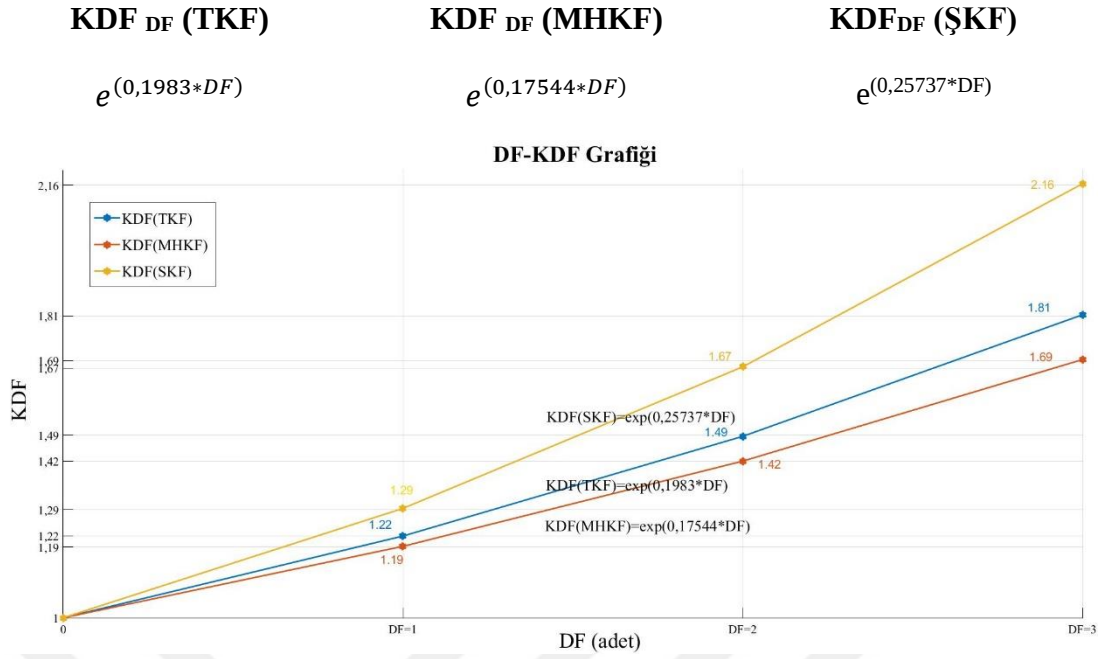
Tablo 39. Kaza Tahmin Modelleri-KDF

Kaza Şiddeti	GPF	NEKT	KKAMYA	KGYŞS	DF	ÖSKEYM
TKF _M	$e^{(-0,655+(7,517e-6)KGYAS)}$	$e^{(-3,758,(NEKT-0,0177))}$	$e^{(0,005553,(KKAMYA-90))}$	$e^{(0,144,KGYŞS-7)}$	$e^{(0,1983,DF)}$	$e^{(0,001298,ÖSKEYM-80)}$
MHKF _M	$e^{(-0,51083+(9,4413e-6)KGYAS)}$	$e^{(-5,0586,(NEKT-0,0177))}$	$e^{(0,0036952,(KKAMYA-90))}$	$e^{(0,11844,KGYŞS-7)}$	$e^{(0,17544,DF)}$	$e^{(0,00125,ÖSKEYM-80)}$
ŞKF _M	$e^{(-2,7476+(1,2056e-5)KGYAS-(9,2166e-05)YOGT TALİ)}$		$e^{(0,0069719,(KKAMYA-90))}$	$e^{(0,22889,(KGYŞS-7))}$	$e^{(0,25737,DF)}$	$e^{(0,0018789,ÖSKEYM-80)}$

Tablo 38’de görülen modeller, Tablo 39 daki gibi ifade edilebilir. KDF değerleri hesaplanırken değişkenlerin minimum seviyelerindeki etkileri GPF nin içinde olduğu için çıkarıldı.

DF değişkeni için KDF_{DF}

DF değişkenin Tablo 39’da belirtilen eşitlikte kazalar üzerindeki etkisi TKF için $e^{(0,1983*DF)}$, MHKF için $e^{(0,17544*DF)}$, ŞKF için $e^{(0,25737*DF)}$ ifadeleri ile açıklanabilir. Çalışma sahasında DF değişkeni için 3 seviyeli değer almaktadır. DF değişkeni için KDF fonksiyonları ve grafikleri Şekil 54’de dir.



Şekil 54. KDF_{DF}

İslam vd (2020), gelişmekte olan ülkelerde, kent içi sinyalize kavşakların geometrik olmayan özelliklerinin kazalar üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda kavşak yakınındaki tesislerin sayısının kazalara etkisi olduğu belirlenmiştir.

NEKT değişkeni için KDF_{NEKT}

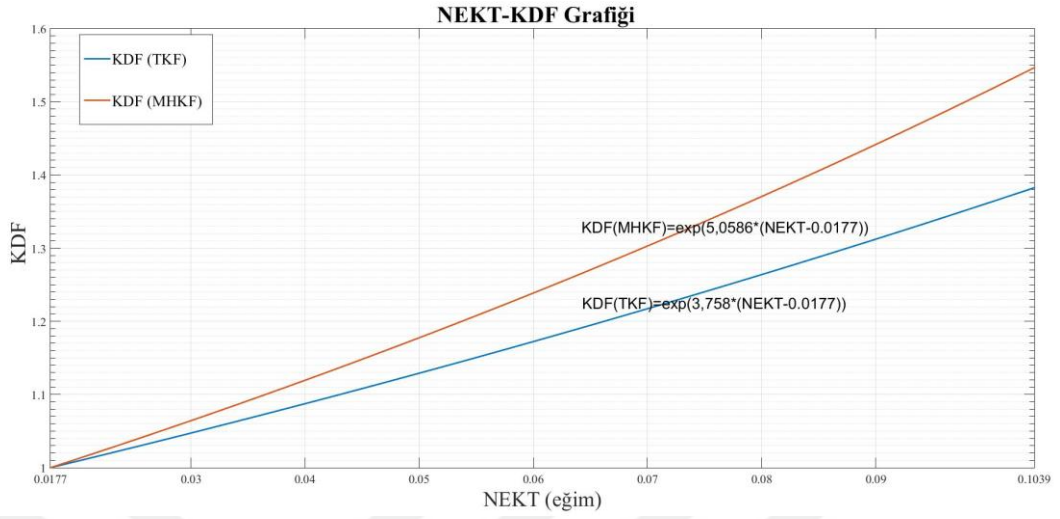
NEKT değişkeni Tablo 39’da kazalar üzerindeki etkisi TKF için $e^{(-3.758*(NEKT-0,0177))}$, MHKF için $e^{(-5,0586*(NEKT-0,0177))}$ ifadesi ile açıklanabilir. Çalışma sahasında NEKT değişkeni için 0,0177- 0,1039 arasında değer almaktadır. NEKT değişkeni için KDF fonksiyonları ve grafikleri Şekil 55’de dir.

KDF_{NEKT} (TKF)

$$e^{(-3.758.(NEKT-0.0177))}$$

KDF_{NEKT} (MHKF)

$$e^{(-5,0586.(NEKT-0.0177))}$$



Şekil 55. KDF_{NEKT}

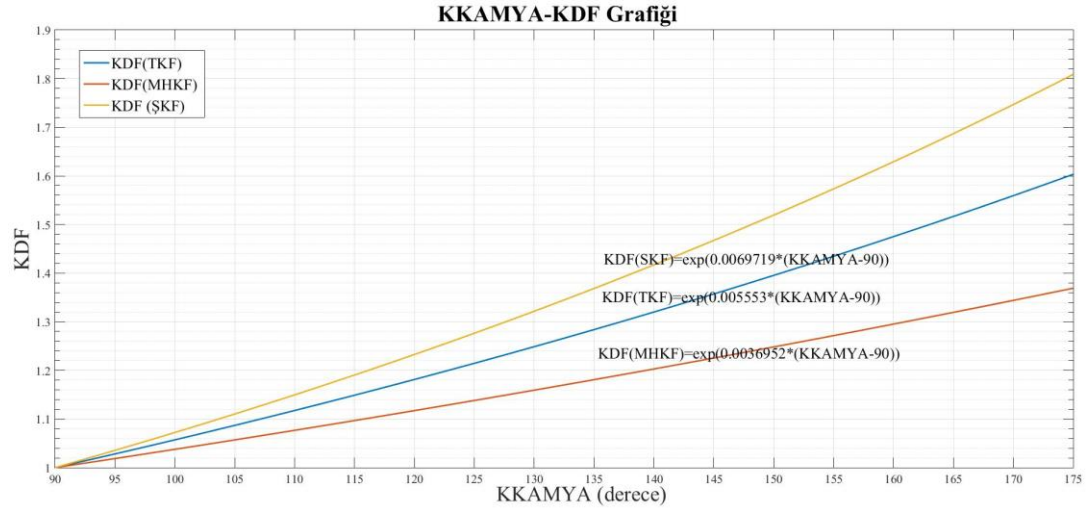
Kumara ve Chin (2005) üç kollu sinyalizasyon kavşaklarında kaza frekansına etki eden değişkenleri incelemişlerdir. Çalışmada +% 5’den daha büyük boyuna eğim varlığı değişken olarak atanmıştır. Bu çalışmada +% 5 üzeri eğimlerin olduğu kavşak yaklaşımlarında, kazaların azalabileceği bildirilmiştir. Kavşak kol eğimleri ile kazalar arasındaki ilişki literatürde tartışmalıdır.

Bu çalışmada ise kavşağın merkez kotunun üstündeki eğimler ile kazalar arasında anlamlı ilişki kurulamazken, kavşak merkez kotundan aşağı eğimlerde ise MHKF artıran etkisi tespit edilmiş, şiddetli kazalar üzerinde ise anlamlı bir etkiye rastlanılmamıştır (Şekil 55). Bunun nedeni kullanıcıların kavşağa yaklaşırken kavşak içindeki trafiği fark edememeleri olabilir.

KKAMYA değişkeni için KDF_{KKAMYA}

KKAMYA değişkeninin Tablo 39’da belirtilen eşitlikte kazalar üzerindeki etkisi TKF için $e^{(0,005553*(KKAMYA-90))}$, MHKF için $e^{(0,0036952*(KKAMYA-90))}$, ŞKF için $e^{(0,0069719*(KKAMYA-90))}$, ifadeleri ile açıklanabilir. Çalışma sahasında KKAMYA değişkeni için 90 ile 175 değer almaktadır. KKAMYA değişkeni için KDF fonksiyonları ve grafikleri Şekil 56’da dır.

KDF_{KKAMYA}(TKF)	KDF_{KKAMYA} (MHKF)	KDF_{KKAMYA} (ŞKF)
$e^{(0,005553*(KKAMYA-90))}$	$e^{(0,0036952*(KKAMYA-90))}$	$e^{(0,0069719*(KKAMYA-90))}$

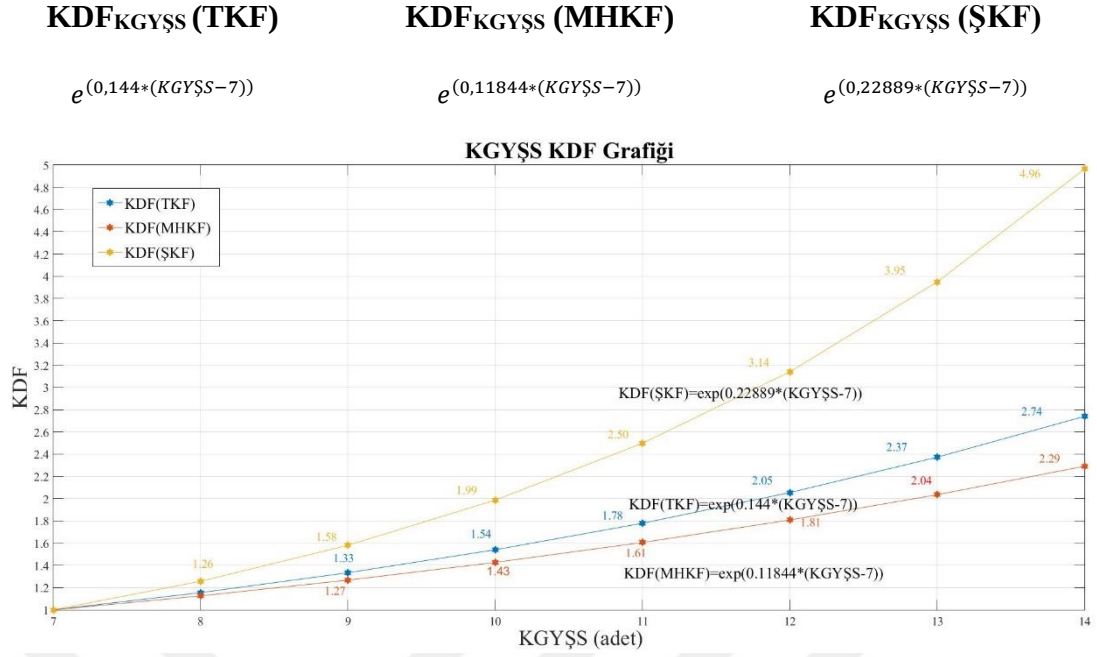


Şekil 56. KDF_{KKAMYA}

Kavşak kolları arasındaki yatay açının kaza frekanslarına ve şiddetine etkisi birçok araştırmada incelenmiştir (Nightingale vd 2017); (Kunfer vd 2019);(Dong vd 2016);(Veith vd 2005). Yapılan çalışmalarda kavşak kollarının dik ve dike yakın olması önerilmektedir.

KGYSŞ değişkeni için KDF_{KGYSŞ}

KGYSŞ değişkeninin Tablo 39’da belirtilen eşitlikte kazalar üzerindeki etkisi TKF için $e^{(0,144*(KGYSŞ-7))}$, MHKF için $e^{(0,11844*(KGYSŞ-7))}$, ŞKF için $e^{(0,22889*(KGYSŞ-7))}$, ifadeleri ile açıklanabilir. Çalışma sahasında KGYSŞ değişkeni için 7 ile 14 arasında değer almaktadır. KGYSŞ değişkeni için KDF fonksiyonları ve grafikleri Şekil 57’de dir.



Şekil 57. KDF_{KGYSS}

Birçok çalışmada kavşağa giriş yapan şerit sayısı değişken olarak alınmış ve kazalar ile ilişkisi incelenmiştir (Wong vd 2007); (Özen 2020).

ÖSKEYM değişkeni için KDF_{ÖSKEYM}

ÖSKEYM değişkenin Tablo 39’da belirtilen eşitlikte kazalar üzerindeki etkisi TKF için $e^{(0,001298*(ÖSKEYM-80))}$, MHKF için $e^{(0,00125*(ÖSKEYM-80))}$, ŞKF için $e^{(0,0018789*(ÖSKEYM-80))}$, ifadeleri ile açıklanabilir. Çalışma sahasında ÖSKEYM değişkeni için 80 ile 510 arasında değer almaktadır. ÖSKEYM değişkeni için KDF fonksiyonları ve grafikleri Şekil 58’de dir.

KDF ÖSKEYM (TKF)

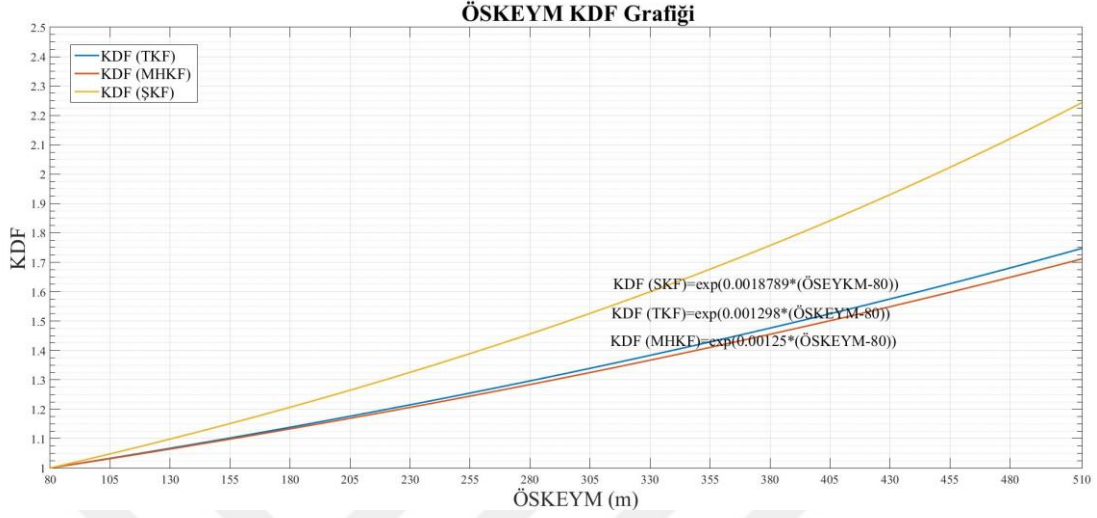
$$e^{(0,001298*(\text{ÖSKEYM}-80))}$$

KDF ÖSKEYM (MHKF)

$$e^{(0,00125*(\text{ÖSKEYM}-809))}$$

KDF ÖSKEYM (ŞKF)

$$e^{(0,0018789*(\text{ÖSKEYM}-80))}$$

**Şekil 58.** KDF_{ÖSKEYM}

Kentsel alanda bulunan yol ağlarında kavşakların birbirine yaklaşması trafik akım özelliklerini olumsuz etkilemekte, akım hızı düşmekte ve gecikmeler artmaktadır (Ordu 2022). Bu çalışmada kavşakların yaklaşması kaza frekansını azaltıcı etkisi olduğu sonucunu vermiştir. Bu durumun muhtemel nedeni trafik akım hızının düşmesine bağlı olarak sürücülerin daha temkinli araç kullanmaları olabilir.

KDF 'lerin doğru tahmin etme gücü

GLM yöntemlerle elde edilen link fonksiyonları ile KDF üretilmesi yanlış bir spesifikasyona odaklanılabilir. Wu ve Lord (2017)' un yapmış oldukları bir çalışmada, bu tür KDF 'lerin doğruluğunu incelemişlerdir. Çalışmalarının ana bulguları aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- Bazı değişkenler kaza riski ile doğrusal olmayan ilişkilere sahip olduğunda, bu değişkenler için yaygın olarak kullanılan GLM 'lerden türetilen KDF 'lerin tümü, özellikle temel koşullardan uzaktaki alanlar (örneğin, sınır alanlar) çevresinde önyargılıdır.
- Doğrusal olmamanın artmasıyla (yani doğrusal olmayan ilişki güçlendiğinde), yanlışlık daha anlamlı hale gelir.

- Doğrusal ilişkilere sahip diğer değişkenlere ilişkin KDF 'lerin kalitesi, doğrusal olmayan ilişkilere sahip olanlarla karıştırıldığında etkilenebilir, ancak doğruluk yine de kabul edilebilir olabilir.
- Bağlantı fonksiyonunun bir veya daha fazla değişken için yanlış kullanılması, diğer parametreler için de taraflı tahminlere yol açabilir.

Yukarıdaki çalışma ışığında bu tez kapsamında bulunan KDF değerlerinin doğrusal ilişkiye ne kadar yakın veya uzak oldukları tespit edilmiştir.

Bu çalışmada bulunan bütün KDF fonksiyonları için en yakın doğrular tespit edilmiştir. Bu doğruların denklemi Tablo 40’da sunulmuştur.

Tablo 40. KDF Fonksiyonları ve En Yakın Doğru Denklemleri

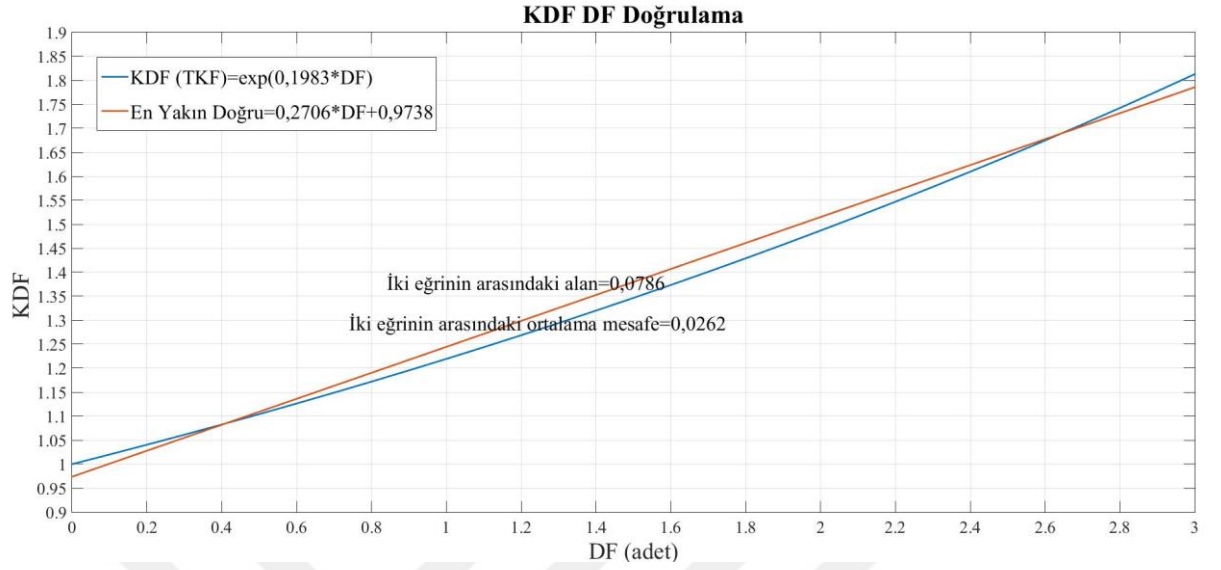
Değişken	KDF fonksiyonu	En Yakın doğru fonksiyonu
$KDF_{DF(TKF)}$	$e^{(0,1983.DF)}$	$KDF=0,2706.DF+0,9738$
$KDF_{DF(MHKF)}$	$e^{(0,17544.DF)}$	$KDF=0,2307.DF+0,9802$
$KDF_{DF(ŞKF)}$	$e^{(0,25737.DF)}$	$KDF=0,3871.DF+0,9519$
$KDF_{NEKT(TKF)}$	$e^{(-3.758.(NEKT-0.0177))}$	$KDF=4,4658.NEKT-0,9112$
$KDF_{NEKT(MKF)}$	$e^{(-5,0586.(NEKT-0.0177))}$	$KDF=6,3915.NEKT-0,8682$
$KDF_{KKAMYA(TKF)}$	$e^{(0,005553.KKAMYA-90)}$	$KDF=0,0071.KKAMYA+0,3419$
$KDF_{KKAMYA(MHKF)}$	$e^{(0,0036952.KKAMYA-90)}$	$KDF=0,0043.KKAMYA+0,601$
$KDF_{KKAMYA(ŞKF)}$	$e^{(0,0069719.KKAMYA-90)}$	$KDF=0,0095.KKAMYA+0,1124$
$KDF_{KGYŞS(TKF)}$	$e^{(0,144.(KGYŞS-7))}$	$KDF=0,2461.KGYŞS-0,8369$
$KDF_{KGYŞS(MHKF)}$	$e^{(0,11844.(KGYŞS-7))}$	$KDF=0,1832.KGYŞS-0,3534$
$KDF_{KGYŞS(ŞKF)}$	$e^{(0,22889.(KGYŞS-7))}$	$KDF=0,5523.KGYŞS-3,2525$
$KDF_{ÖSKEYM(TKF)}$	$e^{(0,001298.ÖSKEYM-80)}$	$KDF=0,0017.ÖSKEYM+0,8426$
$KDF_{ÖSKEYM(MHKF)}$	$e^{(0,00125.ÖSKEYM-80)}$	$KDF=0,0016.ÖSKEYM+0,8507$
$KDF_{ÖSKEYM(ŞKF)}$	$e^{(0,0018789.ÖSKEYM-80)}$	$KDF=0,0027.ÖSKEYM+0,7276$

Tablo 40’da sunulan denklemlerin arasındaki farkın değişken sınırlarına göre integrali alınarak iki eğri arasındaki alan hesaplanmıştır.

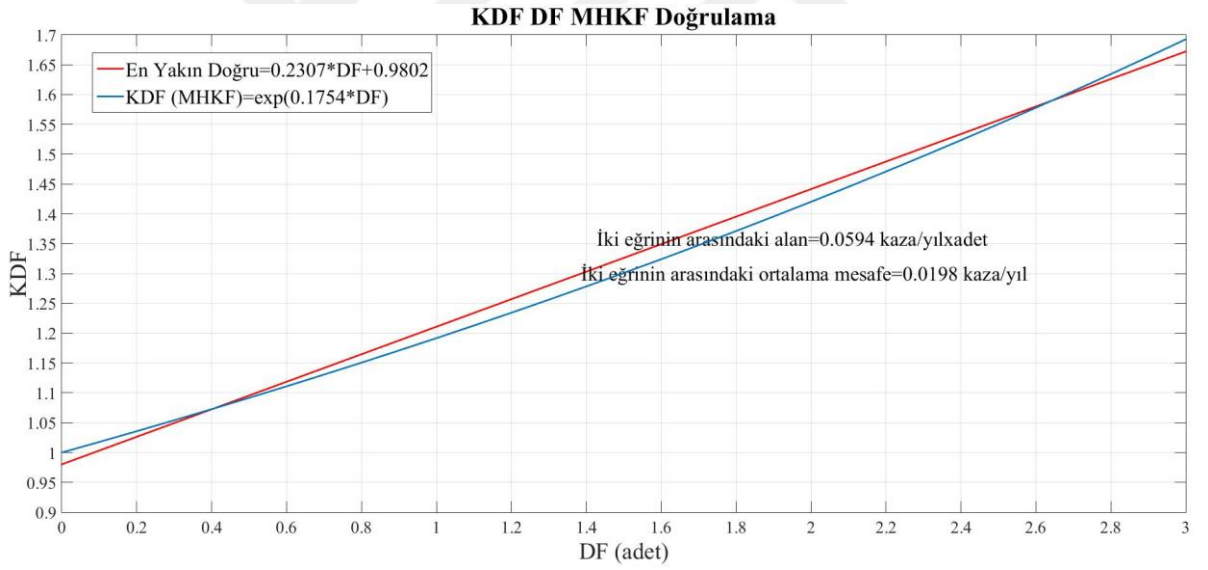
$$\int_n^m (f(kdf) - f(doğru))d(x) \quad (41)$$

Burada m, n değişkenin çalışma alanı içerisindeki sınır değerleri, f(kdf) KDF fonksiyonu, f(doğru) en yakın doğrunun fonksiyonu ve x ise ilgili bağımsız değişkeni temsil

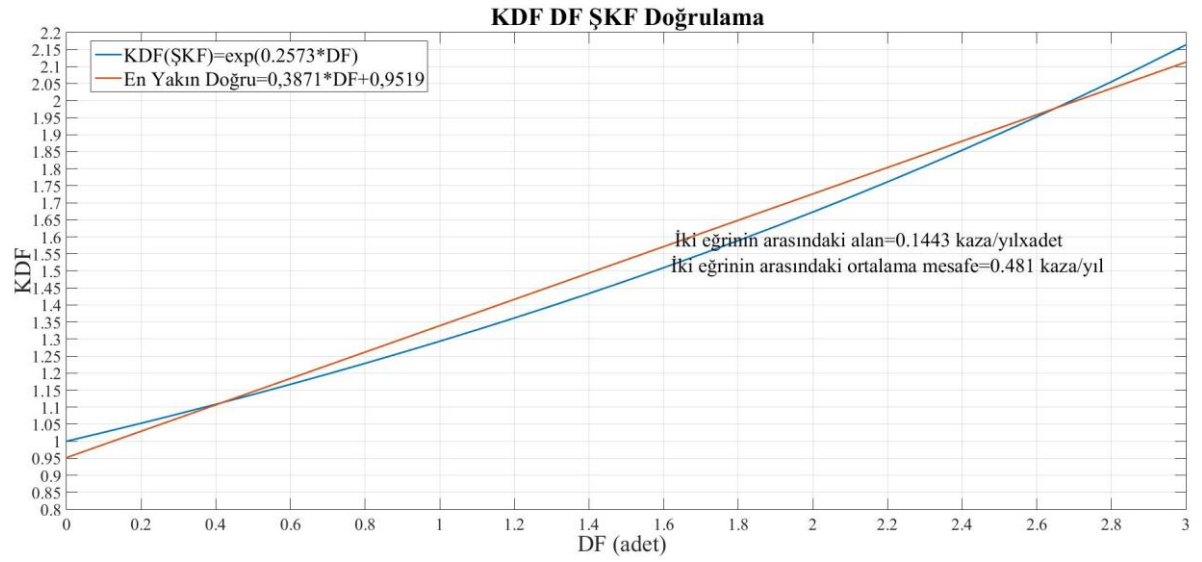
ediyor. Sonuçlar aşağıdaki şekillerde herbir KDF için ayrı ayrı gösterilmiştir. Hesaplanan alan sınır değerleri (m-n) değerine bölünerek ortalama mesafe hesaplandı.



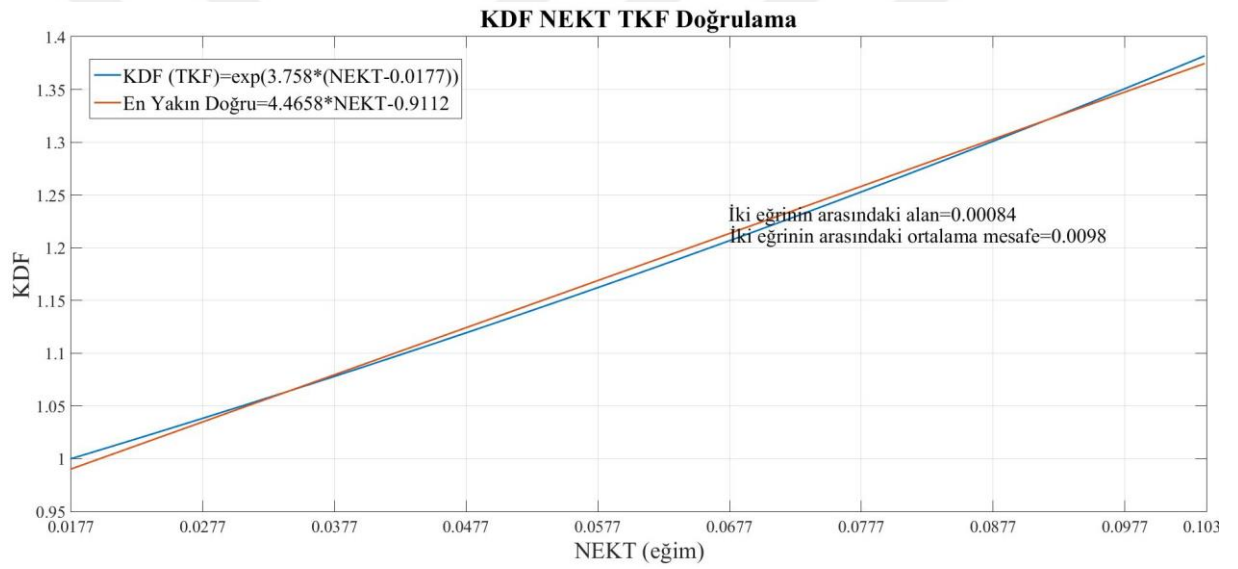
Şekil 59. KDF_{TKFDF} için doğrusallık



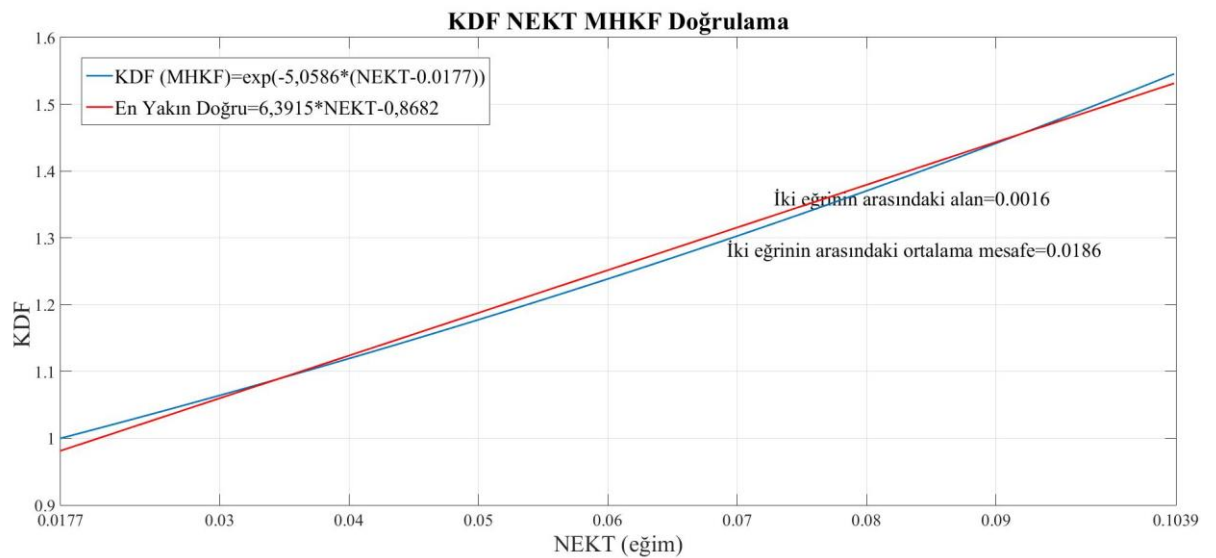
Şekil 60. KDF_{MHKFDF} için doğrusallık



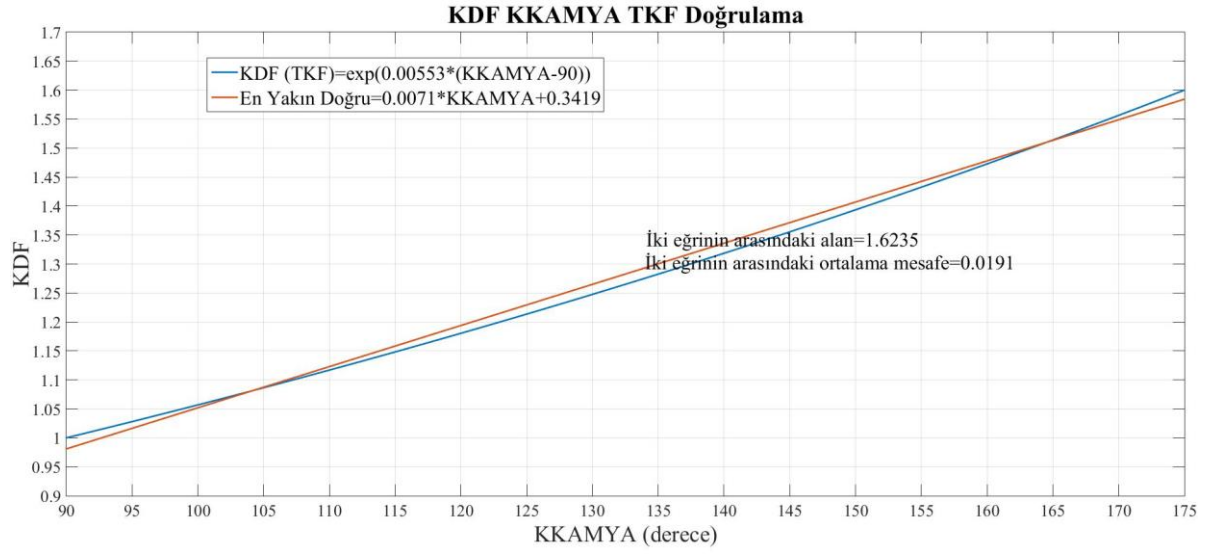
Şekil 61. $KDF_{\text{ŞKFDF}}$ için doğrusallık



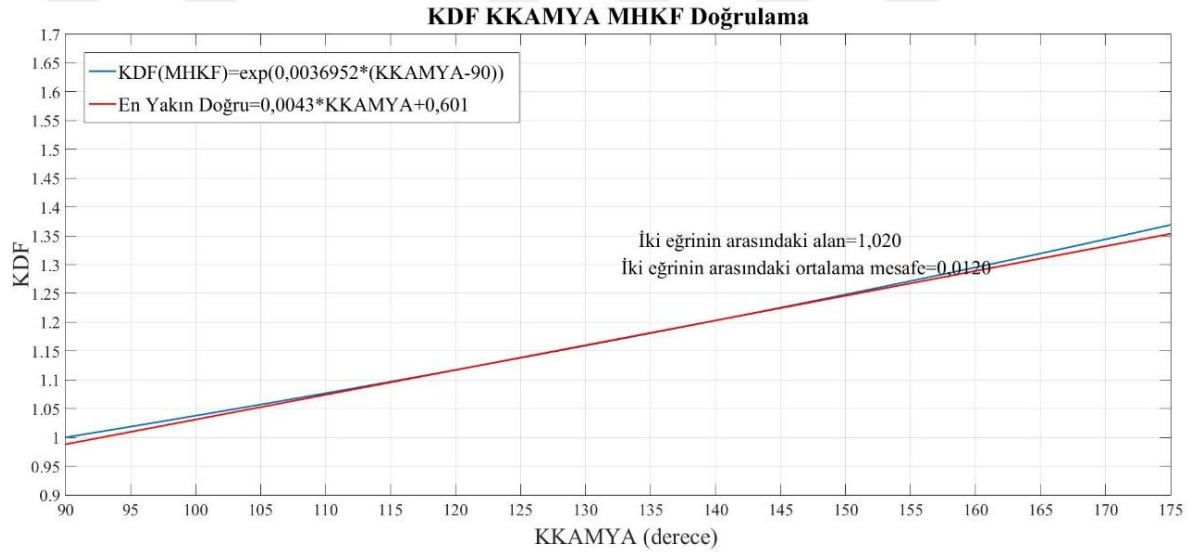
Şekil 62. $KDF_{TKFNEKT}$ için doğrusallık



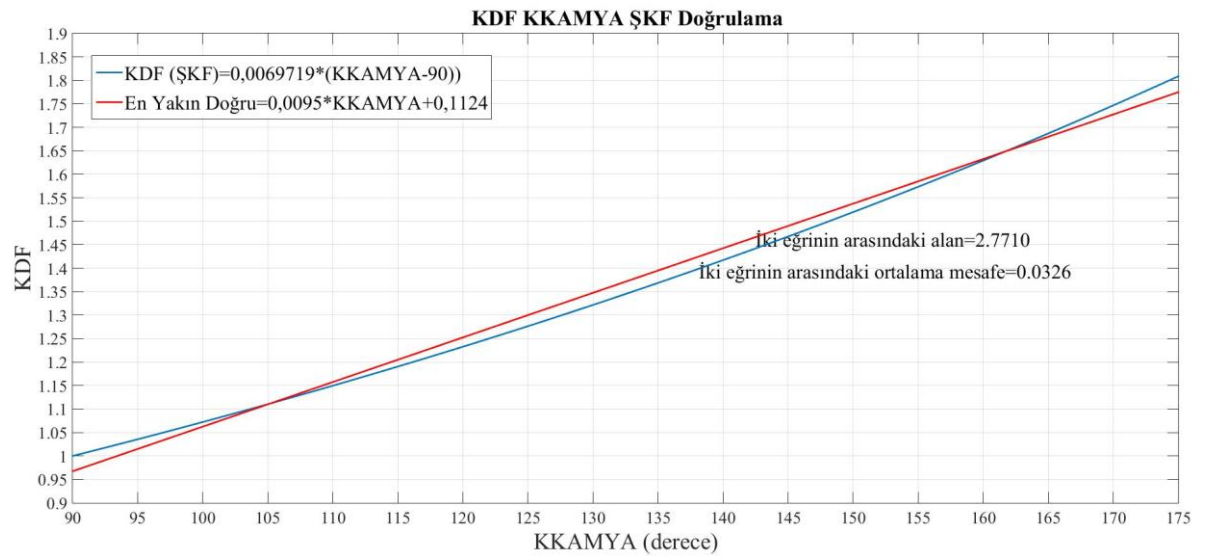
Şekil 63. $KDF_{MHKFNEKT}$ için doğrusallık



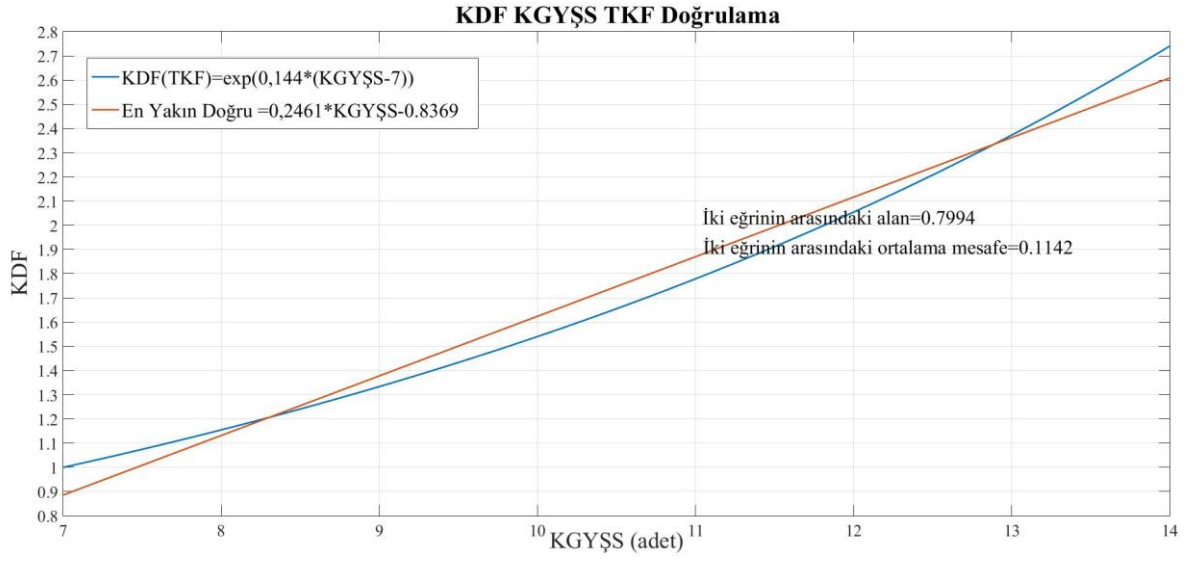
Şekil 64. $KDF_{TKF} / KKAMYA$ için doğrusallık



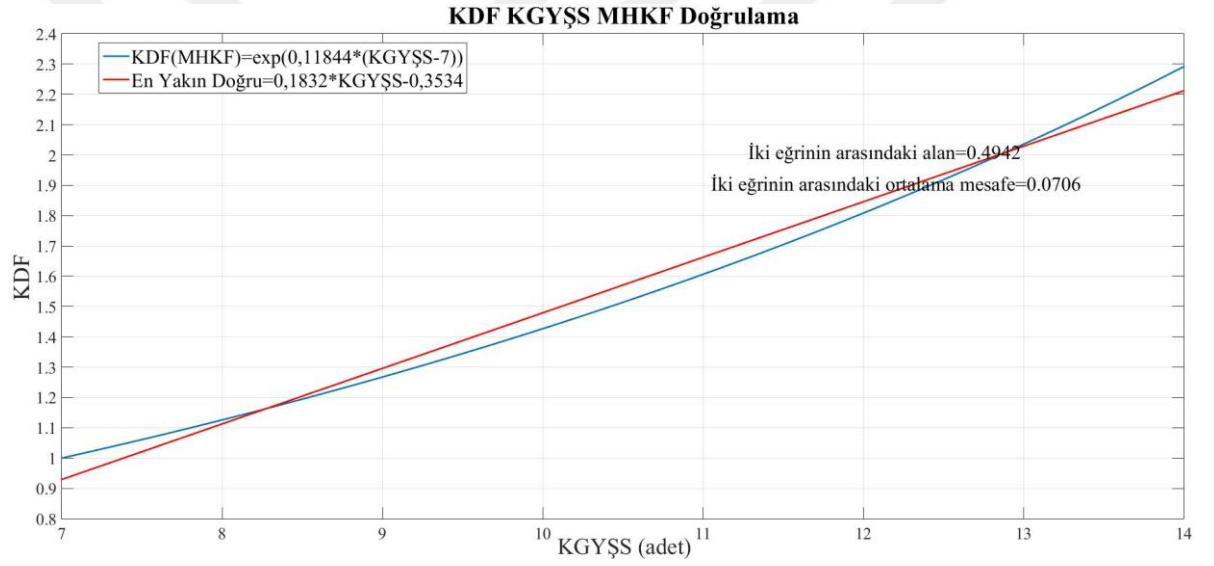
Şekil 65. $KDF_{MHKF} / KKAMYA$ için doğrusallık



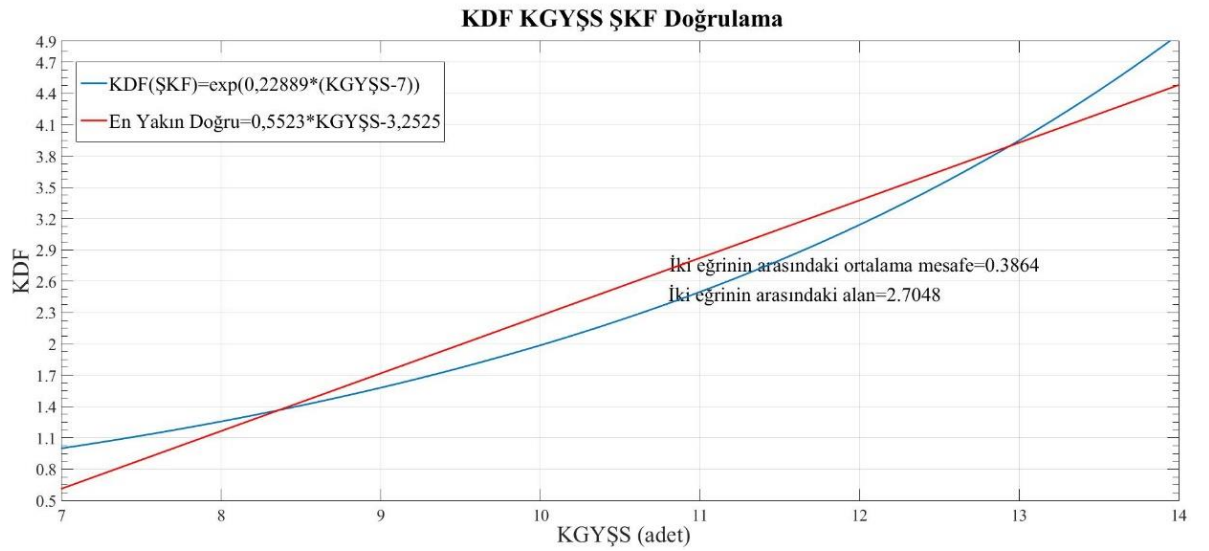
Şekil 66. $KDF_{ŞKF} / KKAMYA$ için doğrusallık



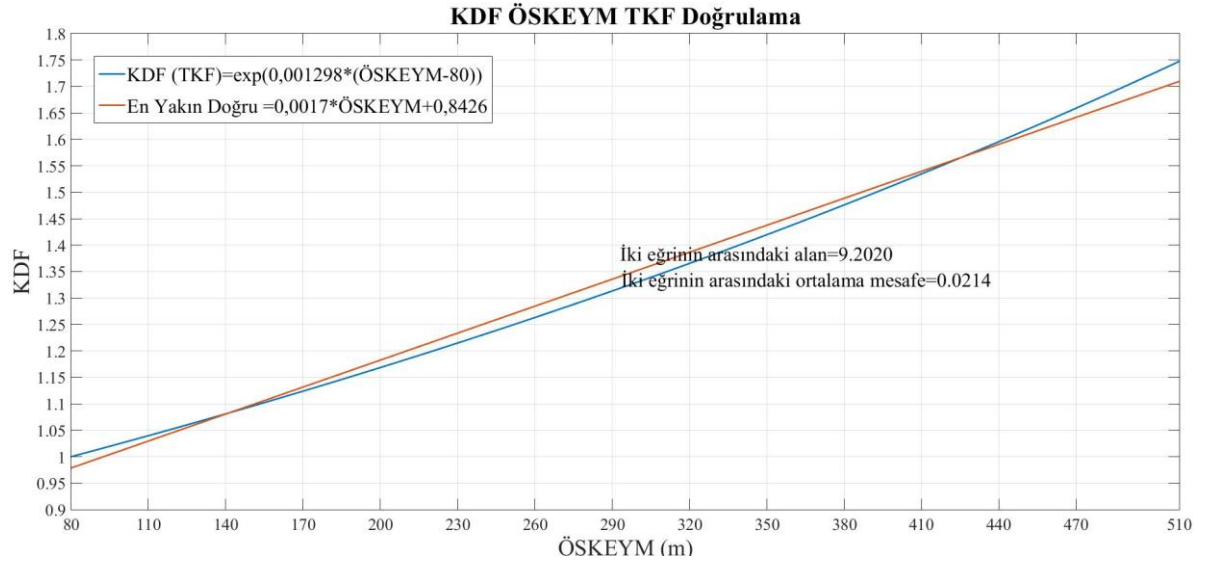
Şekil 67. $KDF_{TKFKGYŞS}$ için doğrusallık



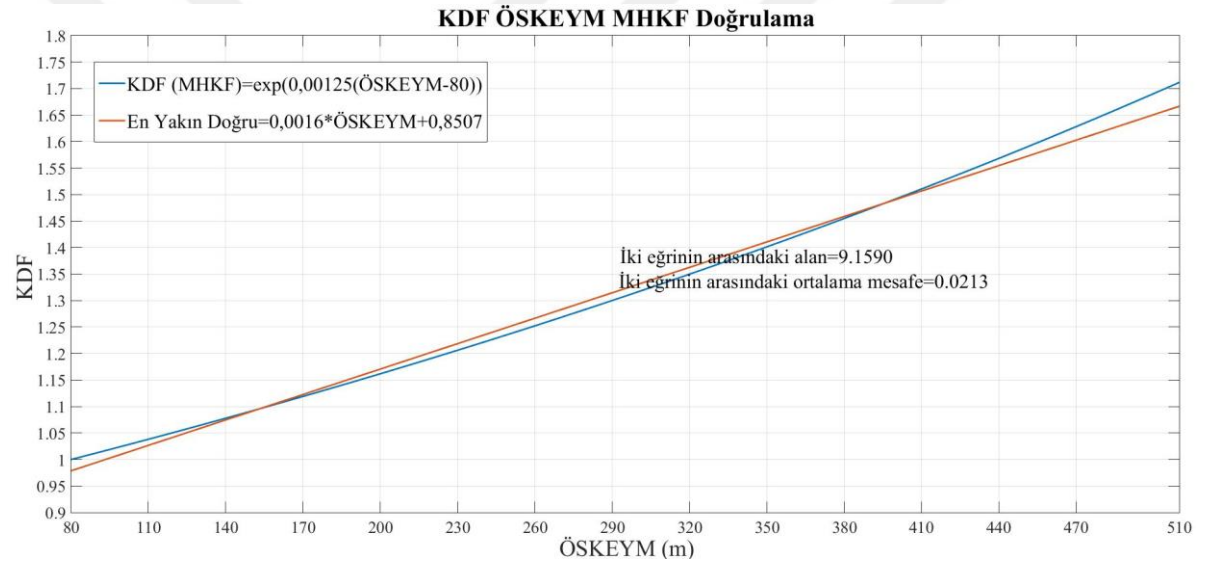
Şekil 68. $KDF_{MHFKGYŞS}$ için doğrusallık



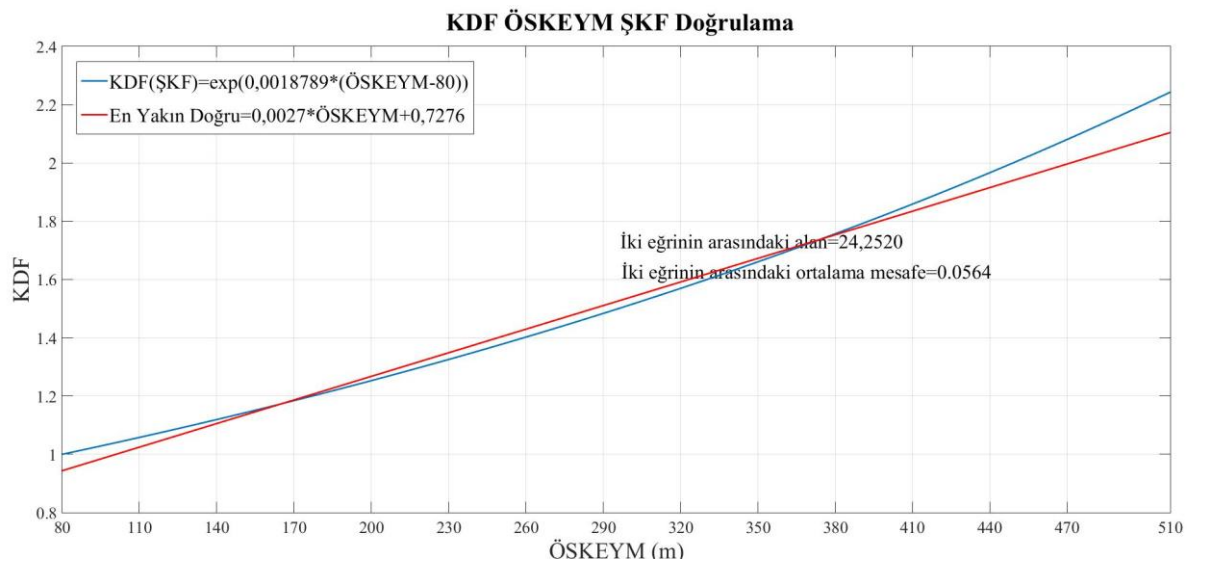
Şekil 69. $KDF_{ŞKF KGYŞS}$ için doğrusallık



Şekil 70. $KDF_{TKF}\ÖSKEYM$ için doğrusallık



Şekil 71. $KDF_{MHKF}\ÖSKEYM$ için doğrusallık



Şekil 72. $KDF_{ŞKF}\ÖSKEYM$ için doğrusallık

Wu ve Lord (2017)'un yayınlamış oldukları çalışmanın sonuçlarına göre $KDF_{KGYSS(TKF)}$, $KDF_{KGYSS(SKF)}$ bulunan KDF değerleri sınır değerlerde bir miktar ön yargılı olabilir. Diğer KDF fonksiyonları lineere yakın ilişki göstermişlerdir.

Tablo 41. KDF 'lerin Doğrusallığı

	Birim	İki Eğri Arasında Kalan Alan	Değişken Sınırları			İki Eğri Arasındaki Ortalama Mesafe
			Alt (n)	Üst (m)	Fark	
$KDFDF_{(TKF)}$	adet	0,07860	0	3	3	0,026
$KDFDF_{(MHKF)}$	adet	0,05940	0	3	3	0,020
$KDFDF_{(SKF)}$	adet	0,14430	0	3	3	0,048
$KDFNEKT_{(TKF)}$	eğim	0,00084	0,0177	0,1039	0,0862	0,010
$KDFNEKT_{(MKF)}$	eğim	0,00160	0,0177	0,1039	0,0862	0,019
$KDFKKAMYA_{(TKF)}$	derece	1,62350	90	175	85	0,019
$KDFKKAMYA_{(MHKF)}$	derece	1,02000	90	175	85	0,012
$KDFKKAMYA_{(SKF)}$	derece	2,77100	90	175	85	0,033
$KDFKGYSS_{(TKF)}$	adet	0,79940	7	14	7	0,114
$KDFKGYSS_{(MHKF)}$	adet	0,49420	7	14	7	0,071
$KDFKGYSS_{(SKF)}$	adet	2,70480	7	14	7	0,386
$KDFÖSKEYM_{(TKF)}$	m	9,20200	80	510	430	0,021
$KDFÖSKEYM_{(MHKF)}$	m	9,15900	80	510	430	0,021
$KDFÖSKEYM_{(SKF)}$	m	24,25200	80	510	430	0,056

Model Özeti

Bu çalışmada kentsel alanda bulunan sinyalizasyon kavşaklarında meydana gelen kazaların frekansını tahmin edebilen bir model oluşturulmuştur. Kazalara etkisi olan 5 adet bağımsız değişken için KDF fonksiyonları hesaplandı. Yapılan çalışmanın sonuçları aşağıdaki tabloda belirtildi.

Çalışmada Tablo 38'de yer alan fonksiyonlar kullanarak çalışma alanında en temel durumda meydana gelen kazaları tahmin edebilen GPF hesaplanmıştır. GPF trafik değişkenleri ve bağımsız değişkenlerin en alt seviyesinde meydana gelen en temel durumdaki kazaları tahmin edebilen eşitliklerdir. Temel etkiler dışında kalan 5 adet bağımsız değişkene KDF hesaplanmıştır. GPF 'lerden elde edilen kaza frekansları ile KDF etkileri eklenerek tahmini kaza frekansları elde edildi.

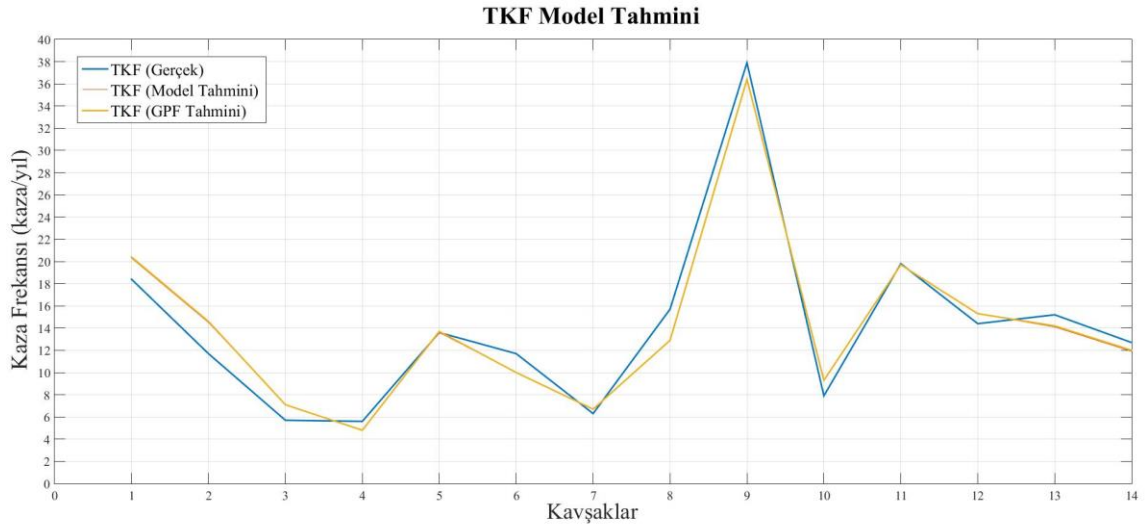
Tablo 42. Kaza Tahmin Model Özeti

Kaza Şiddeti	Kaza Tahmin Modeli				
GPF _{TKF}	$e^{(1,0237+0,0000075123.KGYAS)}$				
GPF _{MHK}	$e^{(0,84165+0,0000093913.KGYAS)}$				
GPF _{ŞKF}	$e^{(-0,37157+(1,1447e-05.KGYAS)-(8,974e-05.YOGTTali))}$				
	KDF _{NEKT}	KDF _{KKAMYA}	KDF _{DF}	KDF _{KGYSS}	KDF _{ÖSKEYM}
TKF	$e^{(-3,758.(NEKT-0,0177))}$	$e^{(0,005553.KKAMYA-90)}$	$e^{(0,1983.DF)}$	$e^{(0,144.KGYSS-7)}$	$e^{(0,001298.ÖSKEYM-80)}$
MHKF	$e^{(-5,0586.(NEKT-0,0177))}$	$e^{(0,0036952.KKAMYA-90)}$	$e^{(0,17544.DF)}$	$e^{(0,11844.KGYSS-7)}$	$e^{(0,00125.ÖSKEYM-80)}$
ŞKF		$e^{(0,0069719.KKAMYA-90)}$	$e^{(0,25737.DF)}$	$e^{(0,22889.(KGYSS-7))}$	$e^{(0,0018789.ÖSKEYM-80)}$
TKF _{GPFT} = GPF _{TKF} x KDF _{NEKT} x KDF _{KKAMYA} x KDF _{DF} x KDF _{KGYSS} x KDF _{ÖSKEYM}					
MHKF _{GPFT} = GPF _{MHKF} x KDF _{NEKT} x KDF _{KKAMYA} x KDF _{DF} x KDF _{KGYSS} x KDF _{ÖSKEYM}					
ŞKF _{GPFT} = GPF _{ŞKF} x KDF _{KKAMYA} x KDF _{DF} x KDF _{KGYSS} x KDF _{ÖSKEYM}					

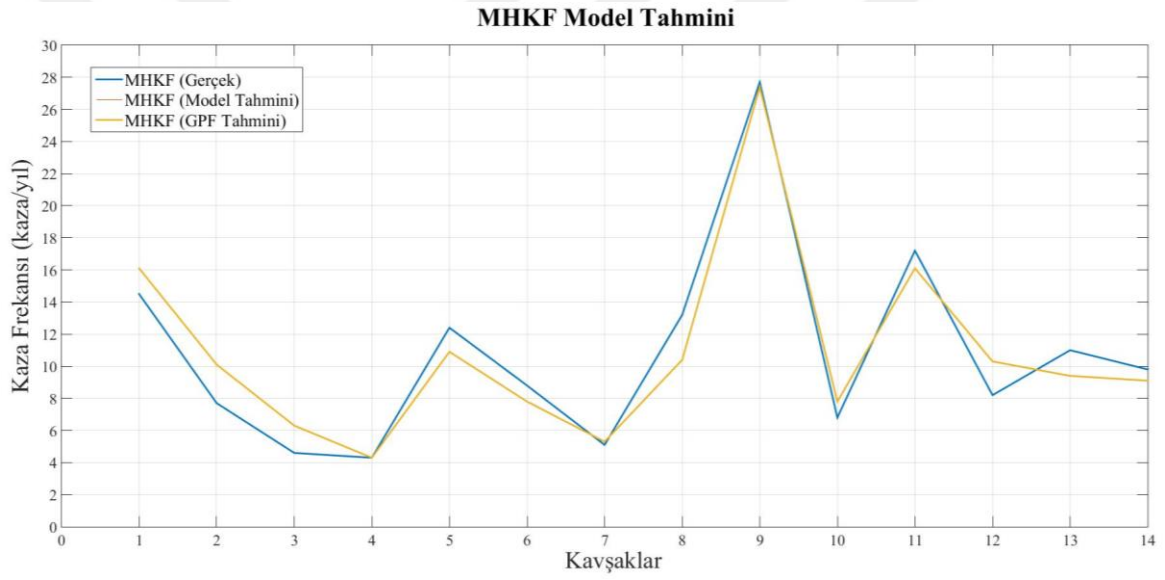
Tablo 43. Kaza Tahmin Model Kontrol Tablosu (10 Yıllık Ortalama Kaza Frekansları)

Kavşak No	TKF _G	TKF _{MT}	TKF _{GPFT}	MHKF _G	MHKF _{MT}	MHKF _{GPFT}	ŞKF _G	ŞKF _{MT}	ŞKF _{GPFT}
1	18,4	20,3	20,4	14,5	16,1	16,1	3,9	3,7	3,7
2	11,7	14,5	14,6	7,7	10,1	10,1	4,0	3,9	3,9
3	5,7	7,1	7,1	4,6	6,3	6,3	1,1	1,3	1,3
4	5,6	4,8	4,8	4,3	4,3	4,3	1,3	0,9	0,9
5	13,6	13,6	13,7	12,4	10,9	10,9	1,2	1,7	1,7
6	11,7	10,0	10,0	8,8	7,8	7,8	2,9	2,2	2,2
7	6,3	6,7	6,7	5,1	5,3	5,3	1,2	1,4	1,4
8	15,7	12,9	12,9	13,2	10,4	10,4	2,5	2,2	2,2
9	37,9	36,4	36,4	27,7	27,5	27,4	10,2	9,5	9,3
10	7,9	9,3	9,3	6,8	7,8	7,8	1,1	1,6	1,6
11	19,8	19,7	19,7	17,2	16,1	16,1	2,6	3,7	3,7
12	14,4	15,3	15,3	8,2	10,3	10,3	6,2	6,2	6,1
13	15,2	14,1	14,2	11,0	9,4	9,4	4,2	4,6	4,5
14	12,7	11,9	12,0	9,8	9,1	9,1	2,9	2,7	2,7

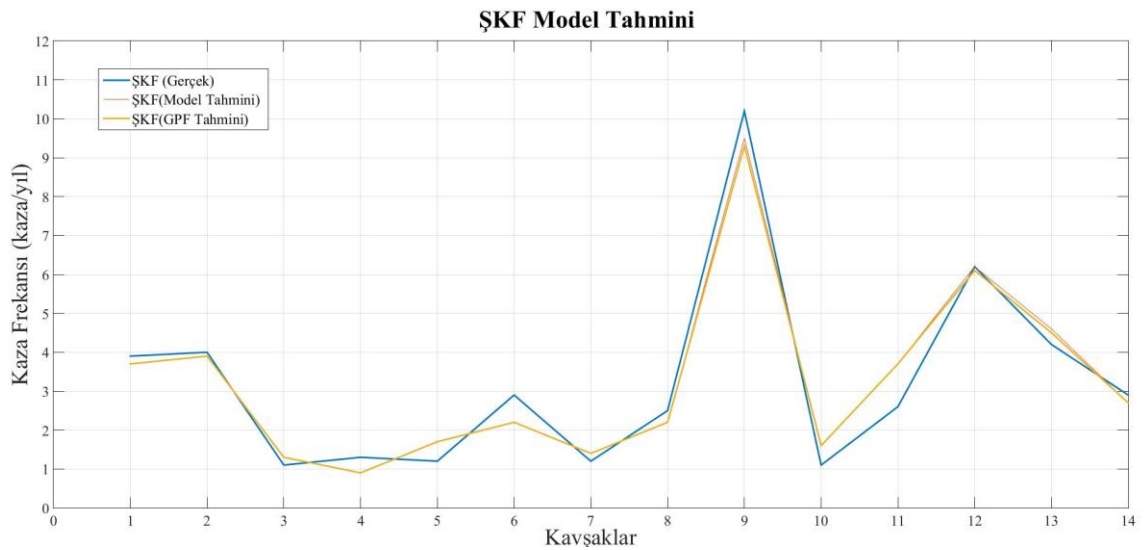
Tablo 43’de çalışma sahasındaki gerçek kaza frekansları, model yardımı ile tahmin edilen kaza frekansları ile GPF ve KDF ‘ler yardımı ile tahmin edilen kaza frekanslarının 10 yıllık ortalamaları belirtildi. Şekil 73, Şekil 74 ve Şekil 75’de görüldüğü üzere model yardımı ile tahmin edilen değerler ile GPF ve KDF aracılığı ile tahmin edilen değerler üst üste çakışmaktadır.



Şekil 73. TKF tahmin grafiği



Şekil 74. MHKF tahmin grafiği



Şekil 75. ŞKF tahmin grafiği

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Literatürde kavşaklara ait konum ve geometrik özelliklerini kullanarak yapılmış olan kaza tahmin model çalışmasının az sayıda olması, Ülkemizde ise bu çerçevede yapılmamış olmasından dolayı bu çalışma yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı, kentsel alanlarda yer alan sinyalize kavşaklar için, kavşakların geometri ve konum özelliklerini kullanılarak bir kaza tahmin modeli oluşturmaktır. Çalışma sahası olarak Erzurum ili kent merkezinde 14 adet sinyalize kavşak belirlenmiştir.

Erzurum ili kent içinden seçilmiş, 14 kavşağa ait 2008-2017 yılları arasında meydana gelen kaza verileri, trafik verileri, kavşakların konum ve geometrik özellikleri verileri ile çalışmanın veri seti oluşturulmuştur. Çalışmada kavşağa giriş yapan araç sayısı, tali yolun günlük trafik hacmi, negatif eğimli kolların toplamı, önceki sonraki kavşağa en yakın mesafe, kavşağa giriş yapan şerit sayısı, kavşak kolları arasındaki maksimum yatay açı, kavşak fonksiyonel alan içerisindeki tesis sayısı değişkenleri belirlenmiştir.

Bu değişkenler ile kaza tahmin modeli oluşturmak için genelleştirilmiş lineer model ve genelleştirilmiş lineer karma model yöntemleri kullanılmıştır.

Çalışma sahası olarak belirlenen örnek sahada, kavşakların geometri ve konum özellikleri kullanılarak iki farklı kaza (maddi hasarlı kaza ve ölümlü yaralanmalı kaza) şiddeti için ayrı ayrı kaza tahmin modeli oluşturuldu. Modelin, çalışma sahasındaki kazaları tahmin etme kabiliyeti, başka sahalarda yapılan kaza tahmin modelleri ile karşılaştırıldı.

Çalışmada belirlenen modelde toplam kazalar, maddi hasarlı kazalar ve şiddetli kazalar için ayrı ayrı güvenlik performans fonksiyonları oluşturulmuştur. Çalışma sahasında belirlenen alt ve üst sınırlar içerisinde her bir değişken için kaza değişim faktörleri hesaplanmıştır.

Çalışma bulgularında, en önemli etkiye sahip olan değişken diğer faktörler (Kavşak merkezinden 100 m mesafe içerisinde bulunan tesis sayısı) değişkeni, bütün kavşaklarda yakın oranda kaza frekansına etki yaptığı belirlenmiştir. Kavşakların fonksiyonel alanındaki okul, benzin istasyonu, cami gibi tesislerin bağlantısı her zaman bir güvenlik riski oluşturduğu bu çalışma ile bir kez daha doğrulanmıştır. Kentsel alanda bulunan bir sinyalize kavşak fonksiyonel alan içerisinde 1 adet tesis olduğunda kazalar 1,22 kat artış olurken bu sayı iki olduğunda oran 1,49 kat olmaktadır.

Kavşak kollarının merkez kotundan daha aşağı kotta olan negatif eğimlerin toplamı maddi hasarlı kaza frekansını artırırken, şiddetli kaza frekansına herhangi bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Kentsel alanda bulunan bir sinyalize kavşağın % 10 toplam negatif eğimli kola

sahip olması durumunda, maddi hasarlı kaza frekansında 1,5 kat artış oluşturacağı hesaplanmıştır.

Çalışma alanında bulunan kavşakların, kolları arasındaki yatay açıların büyük bir bölümü dar ve geniş açıdır. Çok az kavşak dik açı ile birleşmektedir. Kavşak kolları arasında bulunan yatay açılardan en büyüğü ile kazalar arasında anlamlı ilişkiler olduğu belirlenmiştir. Beklendiği gibi bu açı 90° olduğunda kazalar minimum seviyede olurken bu açı büyüdüğünde kavşaktaki çarpıklık artmakta bu durum araçların manevra kabiliyetlerini etkilemekte ve sürücülerin görüş ve dikkatini kısıtlamaktadır. Bu nedenle kavşak kolları arasındaki maksimum yatay açı değişkeninin 90° -175° arasında olduğunda kazaları artırdığı belirlenmiştir. Bu açı 140°-175° aralığında olduğunda ortalama 1,4 kat kaza frekansında artış oluşmaktadır.

Kavşağa giriş yapan şerit sayısındaki artış, çakışmaları artırması nedeniyle kaza frekansında artış olması beklenir. Bu çalışmada bu durum teyit edilmiştir. Bu çalışmada, bu değer 12 âdetin üzerine çıktığında kaza frekansları 2 kattan daha fazla artış olacağını göstermektedir.

Kavşaklara giriş yapan şerit sayısı ile kavşağa giriş yapan araç sayısı, o kavşaktaki hizmet seviyesini ve hızı etkileyen önemli değişkenlerdir. Bu çalışmada, yollardaki yoğunluğun artması durumunda, kaza frekansının azaldığı belirlenmiştir. Trafik mühendisliğinde yoğunluğun artması, hızın düşmesi ve konforun azalması istenmeyen bir durumdur. Ters durumda şerit başına düşen birim oto azaldığında, yoğunluk azalır, hız artacak dolayısı ile kazalarda artacaktır.

Çalışma bulgularında kavşakların yaklaşması kazaların azalması yönünde bir anlamlı etki olduğu belirlenmiştir. Bu durum istenmeyen durum olup, kavşakların yaklaşması ile trafik yoğunluğu artıp, akım hızı düşmektedir. Bu durumda muhtemelen hızın düşmesi güvenliğe katkı sağlamıştır. Ancak kavşakların yaklaşması sürücülerin dönüş yörüngeleri için şerit değiştirme talebi nedeniyle yeni çakışmalara neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak gecikmeler ve konforsuz bir sürüş meydana gelmektedir.

Bu çalışmada kavşak kollarındaki anayol yol trafik miktarı anlamlı etki göstermez iken tali yol trafiğinin azalması şiddetli kazalarda bir artışa neden olduğu belirlenmiştir.

Çalışma sonuçlarına göre kent içi sinyalizasyon kavşaklarda trafik güvenliğinin artırılması için aşağıdakilerin yapılması önerilmiştir;

Kentsel alanda kaza riskinin fazla olduğu kavşaklarda geometrik iyileştirme yapılamıyor ise kavşağa giriş yapan şerit sayısını azaltmak kaza sayısını azaltabilir.

Kavşak merkezinden daha aşağı kotta bulunan kollar için gerekli önlemler alınmalıdır, yatay ve düşey trafik işaretlemeler yapılmalıdır.

Kavşak kolları arasındaki yatay açılar en büyüğü dik veya dike yakın olmalıdır.

Kentsel alanda kavşaklar arası mesafenin artması trafik akım hızını artırır, trafik gecikmelerini ve yoğunluğunu da azaltır. Ancak bu bölgelerde kazaların artacağı da göz önünde bulundurularak gerekli önlemler alınmalıdır.

Kavşak fonksiyonel alanında bulunan tesislerin bağlantıları gözden geçirilmeli ve bu bağlantıların önemli bir güvenlik riski olduğu unutulmamalıdır.



KAYNAKLAR

- AASHTO, 2001. A policy on geometric design of highways and streets, 2001. American Association of State Highway and Transportation Officials, 905, Washington D.C.
- Abdel-Aty, M. A., ve Radwan, A. E. 2000. Modeling traffic accident occurrence and involvement. *Accident Analysis and Prevention*, 32(2000), 633-642.
- Abdulhafedh, A., 2017. Road Crash Prediction Models: Different Statistical Modeling Approaches. *Journal of Transportation Technologies*, 07(02), 190–205. <https://doi.org/10.4236/jtts.2017.72014>
- Akai, H., 1973. Information theory and extension of the maximum likelihood principle. 2nd International Symposium on Information Theory, Academiai Kiado.
- Al-Marafi, M. N., Somasundaraswaran, K., Ayers, R., 2018. Developing crash modification factors for roundabouts using a cross-sectional method. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 7(3), 362–374. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2018.10.012>
- Al-Marafi, M. N., Somasundaraswaran, K., Bullen, F., Al-mara, M. N., Somasundaraswaran, K., & Bullen, F., 2021. Development of crash modification factors for intersections in Toowoomba city, 25(1), 104-123. <https://doi.org/10.1080/12265934.2020.1743739>
- Alpar, R., 2003. Uygulamalı Çok Değişkenli İstatiksel Yöntemlere Giriş 1. Nobel Yayın Dağıtım/Teknik Dizisi, Ankara.
- Alvarez, P., Fernández, M. A., Gordaliza, A., Mansilla, A., Molinero, A., 2020. Geometric road design factors affecting the risk of urban run-off crashes. A case-control study. *Plos One*, 15(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234564>
- Anonim 1., 2020. www.tuik.gov.tr.
- Anonim 2., 2020. www.kgm.gov.tr.
- ANSI., 1996. Manual on Classification of Motor Vehicle Traffic Accidents (ANSI D16.1-1996; Sixth Edit). National Safety Council, 32, Illinois.
- Antonucci, N. D., Hard, K. K., Slack, K. L., Pfefer, R., Neuman, T. R., 2004. A Guide for Reducing Collisions Signalized Intersections. NCHRP Report (C. 12, Sayı 500).
- Archer, J., Fotheringham, N., Symmons, M., Corben, B., 2008. The Impact of Lowered Speed Limits in Urban and Metropolitan Areas. Monash University Report No:276.
- Bauer, K. M., Harwood, D. W., 2000. Statistical Models of At-Grade Intersection Accidents-Addendum. FHWA-RD-99-094. Virginia.
- Breslow, N. E., Clayton, D. G., 1993. Approximate Inference in Generalized Linear Mixed Models. *Journal of the American Statistical Association*, 88(421), 9–25. <https://doi.org/10.1080/01621459.1993.10594284>
- Bulut, T., 2020. R’da Poisson ve Negatif Binom Regresyon Yöntemleri Üzerine Bir Vaka Çalışması: A Case Study on Poisson and Negative Binomial Regression Methods in R. <https://tevfikbulutcom.wordpress.com/.15.11.2023>
- Chen, C., Xie, Y., 2016. Modeling the effects of AADT on predicting multiple-vehicle crashes at urban and suburban signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention*,

91(2016), 72–83. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.02.016>

- Cheng, L., Geedipally, S. R., Lord, D., 2013. The Poisson–Weibull generalized linear model for analyzing motor vehicle crash data. *Safety Science*, 54(2013), 38–42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2012.11.002>
- Chin, H. C., Quddus, M. A., 2003. Applying the random effect negative binomial model to examine traffic accident occurrence at signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention*, 35(2), 253–259. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(02\)00003-9](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(02)00003-9)
- Chiou, Y. C., Fu, C., Ke, C. Y., 2020. Modelling two-vehicle crash severity by generalized estimating equations. *Accident Analysis and Prevention*, 148(2020). <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105841>
- Choi, Y. H., Park, S. H., Ko, H., Kim, K. H., Yun, I., 2018. Development of Safety Performance Functions and Crash Modification Factors for Expressway Ramps. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(2), 804–812. <https://doi.org/10.1007/s12205-017-0582-1>
- Clark, J. E., Maghsoodloo, S., Brown, B. D., 1983. Public Good Relative to Right-Turn-on-Red in South Carolina and Alabama. *Transportation Research Record*, 926, 24–31.
- Düzen, Z., Kaya, İ., Erçin, M. E., Akkaya, F., Angın, E., Temiz, D. Y., Eriş, E., Gültekin, D., Altınsoy, A. M., Demir, H., 2022. *Karayolu Tasarım El Kitabı. Karayolları Genel Müdürlüğü*, 340, Ankara.
- Dong, C., Clarke, D. B., Nambisan, S. S., Huang, B., 2016. Analyzing injury crashes using random-parameter bivariate regression models. *Transportmetrica A: Transport Science*, 12(9), 794–810. <https://doi.org/10.1080/23249935.2016.1177134>
- Elvik, R., Høy, A., Vaa, T., Sørensen, M., 2009. *The Handbook of Road Safety Measures* (2. Edition). Emerald Group Publishing Limited. UK.
- Elvik, R., 1995. Meta-Analysis of Evaluations of Public Lighting as Accident Countermeasure. *Transportation Research Record*, 1485, 112–123.
- Fambro, D. B., Urbanik, T., Hinshaw, W. M., Hanks, J. W., Ross, M. S., Tan, C. H., Pretorius, C. J., 1989. Stopping Sight Distance Considerations at Crest Vertical Curves on Rural Two-Lane Highways in Texas. Texas Transportation Institute.
- Farid, A., Abdel-Aty, M., Lee, J., 2018. A new approach for calibrating safety performance functions. *Accident Analysis and Prevention*, 119(2018), 188–194. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.07.023>
- FGSV., 1992. *Trafik Işıkları için Yönerge*. <https://www.fgsv.de>.
- Gomes, S. V., Geedipally, S. R., & Lord, D., 2012. Estimating the safety performance of urban intersections in Lisbon, Portugal. *Safety Science*, 50(9), 1732–1739. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.03.022>
- Gross, F., Persaud, B., Lyon, C., 2010. A Guide to Developing Quality Crash Modification Factors. http://www.cmfclearinghouse.org/collateral/cmf_guide.pdf
- Haight, F. A. 1967. *Handbook of the Poisson Distribution*. John Wiley and Sons, 182, UK.
- Harwood, D. W., Bauer, K. M., Potts, I. B., Torbic, D. J., Richard, K. R., Kohlman Rabbani, E. R., Hauer, E., Elefteriadou, L., 2002. Safety Effectiveness of Intersection Left- and Right-Turn Lanes. Federal Highway Administration Office of Safety Research and Development, FHWA-RD-02-089, Washington D.C.
- Hosseinpour, M., Sahebi, S., Zamzuri, Z. H., Yahaya, A. S., Ismail, N., 2018. Predicting crash frequency for multi-vehicle collision types using multivariate Poisson-lognormal spatial

- model: A comparative analysis. *Accident Analysis and Prevention*, 118(2018), 277–288. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.05.003>
- HSM, 2010. Highway Safety Manual · (1. Edition). AASHTO.
- Ingle, A., Gates, T. J., 2023. Crash Modification Functions for Rural Skewed Intersections. *Transportation Research Record*, 2677(1), 1604–1617. <https://doi.org/10.1177/03611981221105272>
- Islam, M. R., Barua, S., Akter, S., Hadiuzzaman, M., Haque, N., 2020. Impacts of nongeometric attributes on crash prediction at urban signalized intersections of developing countries. *Journal of Transportation Safety and Security*, 12(5), 671–696. <https://doi.org/10.1080/19439962.2018.1526840>
- Joshua, S. C., Garber, N. J., 1990. Estimating truck accident rate and involvements using linear and poisson regression models. *Transportation Planning and Technology*, 15(1), 41–58. <https://doi.org/10.1080/03081069008717439>
- Jovanis, P., Chang, H., 1986. Modeling the relationship of accident to mile traveled. *Transporter Research Record*, 1068, 42–51.
- Khattak, M.W., Pirdavin, A., Winne, P.D., Brijs., 2021. Estimation of safety performance functions for urban intersections using various functional forms of the negative binomial regression model and a generalized Poisson regression model. *Accident Analysis and Prevention*, 151(2021). <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105964>
- Karlaftis, M. G., Vlahogianni, E. I., 2011. Statistical methods versus neural networks in transportation research : Differences , similarities and some insights. *Transportation Research Part C*, 19(2011), 387–399. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2010.10.004>
- Koç, T., Cengiz, M. A., 2012. Genelleştirilmiş Lineer Karma Modellerde Tahmin Yöntemlerinin Uygulamalı Karşılaştırılması. *Karaelmas Science and Engineering Journal*, 2(2), 47–52. <https://doi.org/10.7212/zkufbd.v2i2.89>
- Konak, E.S., 2006. Bilgisayar Destekli Yüz Tanıma Sistemi Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kronprasert, N., Boontan, K., Kanha, P., 2021. Crash Prediction Models for Horizontal Curve Segments on Two-Lane Rural Roads in Thailand. *Sustainability*, 13(2021), 9011. <https://doi.org/10.3390/su13169011>
- Kumara, S. S. P., Chin, H. C., 2005. Application of Poisson Underreporting Model to Examine Crash Frequencies at Signalized Three-Legged Intersections. *Transportation Research Record*, 1908, 46–50.
- Kumfer, W., Harkey, D., Lan, B., Srinivasan, R., Carter, D., Patel Nujjetty, A., Eigen, A. M., Tan, C., 2019. Identification of Critical Intersection Angle through Crash Modification Functions. *Transportation Research Record*, 2673(2), 531–543. <https://doi.org/10.1177/0361198119828682>
- Lord, D., 2006. Modeling motor vehicle crashes using Poisson-gamma models: Examining the effects of low sample mean values and small sample size on the estimation of the fixed dispersion parameter. *Accident Analysis and Prevention*, 38(4), 751–766. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2006.02.001>
- Lord, D., Mannering, F., 2010. The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(5), 291–305. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2010.02.001>
- Lord, D., Persaud, B. N., 2000. Accident Prediction Models With and Without Trend:

- Application of the Generalized Estimating Equations (GEE) Procedure. Transportation Research Board 79th Annual Meeting. Washington D.C.
- Lyon, C., Haq, A., Persaud, B., Kodama, S. T., 2005. Safety performance functions for signalized intersections in large urban areas: Development and application to evaluation of left-turn priority treatment. *Transportation Research Record*, 1908, 165–171. <https://doi.org/10.3141/1908-20>
- McGee, H., Taori, S., Persaud, B., 2003. Crash Experience Warrant for Traffic Signals. NCHRP Report 491. Transporter Research Board of National Academeis. Washington D.C.
- Miaou, S.-P., Lum, H. 1993. Statistical evaluation of the effects of highway geometric design on truck accidents involvements. *Transporter Research Record*, 1407, 11–23.
- Milton, J., Mannering, F., 1998. The relationship among highway geometrics, traffic-related elements and motor-vehicle accident frequencies. *Transportation*, 25(4), 395–413. <https://doi.org/10.1023/a:1005095725001>
- Mitra, S., Bhowmick, D. ,2020. Status of signalized intersection safety-A case study of Kolkata. *Accident Analysis and Prevention*, 141(2020). <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105525>
- Mohammadnazar, A., Patwary, A. L., Moradloo, N., Arvin, R., & Khattak, A. J., 2022. Incorporating driving volatility measures in safety performance functions : Improving safety at signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention*, 178(2022). <https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106872>
- Nasarrudin, N. F., Mohd Razelan, I. S., 2018. The trend of road traffic crashes at urban signalised intersection. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 342(2018). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/342/1/012015>
- Neuman, R.T., Leisch, E.J., 1985. *Intersection Channelization Design Guide*. NCHRP 279. Washington D.C.
- Nightingale, E., Parvin, N., Seiberlich, C., Savolainen, P. T., Pawlovich, M., 2017. Investigation of skew angle and other factors influencing crash frequency at high-speed rural intersections. *Transportation Research Record*, 2636(1), 9–14. <https://doi.org/10.3141/2636-02>
- Noland, R. B., Adediji, Y., 2018. Are estimates of crash modification factors mis-specified ? *118(2018)*, 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.05.017>
- Ordu, H., (2022). *Birbirine Yakın Kavşaklardaki Trafik Koordinasyonunun Değerlendirilmesi: Samsun Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü, Samsun.
- Özen, M. (2020). Investigation of the factors affecting the crash frequency at four-legged signalized urban intersections. *Teknik Dergi*. 31(3), 10033–10053. <https://doi.org/10.18400/TEKDERG.509128>
- Park, H. C., Yang, S., Park, P. Y., Kim, D. K., 2020. Multiple membership multilevel model to estimate intersection crashes. *Accident Analysis and Prevention*, 144(2020). <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105589>
- Pickering, D. (1986). *Accidents At Rural T-Junctions*. Transport And Road Research Laboratory. Reseach Report 65, England.
- Polders, E., Daniels, S., Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., 2015. Crash patterns at signalized intersections. *Transportation Research Record*, 2514, 105–116. <https://doi.org/10.3141/2514-12>

- Roshandeh, A. M., Agbelie, B. R. D. K., Lee, Y., 2016. Statistical modeling of total crash frequency at highway intersections. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 3(2), 166–171. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.03.003>
- Shaik, M.E., Hossain, Q.S., 2019. Accident Prediction by Using Poisson Regression for Unsignalised Junction in Khulna Metropolitan City, Bangladesh. *Architecture and Civil Engineering*, 07 - 09 February 2019, Bangladeş.
- Sahraci, M. A., Kuşkapan, E., Çodur, M. Y., Tortum, A., 2020. An Overview of Traffic Accident Prediction Models. Nobel. Ankara.
- Saplıoğlu, M., 2010. Şehir içi Denetimsiz Kavşaklar için Bir Kaza Tahmin Modeli. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Shafabakhsh, G., Sajed, Y., 2015. New achievement in the prediction of highway accidents. *Engineering Journal*, 19(1), 140–151. <https://doi.org/10.4186/ej.2015.19.1.139>
- Shahdah, U., Saccomanno, F., Persaud, B., 2014. Integrated traffic conflict model for estimating crash modification factors. *Accident Analysis and Prevention*, 71(2014), 228–235. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.05.019>
- Stapleton, S.Y., Gates, T.J., Avelar, R., Geedipally, S.R., Saedi, R., 2019. Safety Performance Functions for Low-Volume Rural Stop-Controlled Intersections. *Transportation Research Record*, (2019), 1-10. DOI: 10.1177/0361198119840348
- Sweroad, 2001. Türkiye için Ulusal Trafik Güvenliği Programı. www.kgm.gov.tr
- Tunç, A., 2003. Trafik Mühendisliği ve Uygulamaları. Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti. Ankara.
- Veith, G., Gunatillake, T., Mok, H., 2005. Guide to traffic engineering practice. Part 5, Intersections at grade. Austroads.
- Venkataraman, N., Ulfarsson, G. F., Shankar, V. N., 2013. Random parameter models of interstate crash frequencies by severity, number of vehicles involved, collision and location type. *Accident Analysis and Prevention*, 59(2013), 309–318. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.06.021>
- Wang, J.H., Abdel-Aty, M., Wang, L., 2017. Examination of the reliability of the crash modification factors using empirical Bayes method with resampling technique. *Accident Analysis and Prevention*, 104(2017), 96-105. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2017.04.022>
- Wilk, M. B., Gnanadesikan, R., 1968. Probability Plotting Methods for the Analysis of Data (C. 55, Sayı 1). <https://about.jstor.org/terms>
- Wong, S. C., Sze, N. N., Li, Y. C., 2007. Contributory factors to traffic crashes at signalized intersections in Hong Kong. *Accident Analysis and Prevention*, 39(2007), 1107–1113. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2007.02.009>
- Wu, L., Lord, D., 2017. Examining the influence of link function misspecification in conventional regression models for developing crash modification factors. *Accident Analysis and Prevention*, 102(2017), 123–135. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.02.012>
- Xu, X., Teng, H., Kwigizile, V., Mulokozi, E., 2014. Modeling Signalized-Intersection Safety with Corner Clearance. *Journal of Transportation Engineering*, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000636](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000636)
- Yücel, F. (2009). Temel Bileşenler Yöntemiyle Türk Sermaye Piyasası Gelişiminin Uzun Dönem Ekonomik Büyüme Üzerine Etkilerinin Bir Analizi. *Sosyo Ekonomi*, 9(2009–1). www.sosyoekonomi.hacettepe.edu.tr

Zou, Y., Tarko, A. P., 2018. Barrier-relevant crash modification factors and average costs of crashes on arterial roads in Indiana. *Accident Analysis and Prevention*, 111(2018), 71–85. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.11.020>



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Serdar KISAOĞLU
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	Erzurum Lisesi (1994)
Lisans:	Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü (1998)
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ulaştırma Anabilimdalı (2003)
Doktora:	Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ulaştırma Anabilimdalı
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	İyi
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
Türkiye Mühendisler Mimarlar Odası	
Tezden Üretilmiş Yayınlar	
1.İğdır Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü Dergisi	
2. 14. Ulaştırma Kongresi Bildiri Kasım 2023	