

T.C.  
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI HAVA KOŞULLARINDA  
TRAFİK HIZ-AKIM-YOĞUNLUK MODELLERİ

ERSİN GÜNEY

ARALIK 2012

**İnşaat Anabilim Dalında** Ersin GÜNEY tarafından hazırlanan FARKLI HAVA KOŞULLARINDA TRAFİK HIZ-AKIM-YOĞUNLUK MODELLERİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Doç. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR  
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Osman YILDIZ \_\_\_\_\_  
Üye (Danışman) : Doç. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR \_\_\_\_\_  
Üye : Doç. Dr. İlhami DEMİR \_\_\_\_\_

14 / 12 / 2012

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Doç. Dr. Erdem Kamil YILDIRIM  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

### FARKLI HAVA KOŞULLARINDA TRAFİK HIZ-AKIM-YOĞUNLUK MODELLERİ

GÜNEY, Ersin

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR

Aralık 2012, 89 sayfa

İstanbul ulaşımında kullanılan O-1 ve O-2 karayollarının yadsınamaz bir önemi bulunmakta ve bu yollardaki trafik sürekli gözlenerek oluşan ve oluşabilecek problemlerin çözülmesi için çalışmalar yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasında; öncelikle trafiğin temel karakteristiklerine ait modeller için teorik bilgiler verilmiş ve literatürde yaygın olarak kullanılan modeller tanıtılmıştır. Daha sonra İstanbul ili için O-1 ve O-2 otoyollarının belirlenen kesimlerinden toplanan trafik verilerinin analizinin yapılması sonucu hız-akım-yoğunluk ilişkileri değerlendirilmiştir ve farklı hava şartları için uygun modeller geliştirilmiştir. Bu modelleri geliştirebilmek için Lineer (Greenshields) modelden faydalanılmıştır.

Sonuç olarak seçilen yollar için farklı hava şartlarında hız-akım-yoğunluk eğrilerinden elde edilen değerler birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Sürekli kullanılan O-1 ve O-2 karayolu arterlerinin kötü hava şartlarının olumsuz etkisine maruz kalmaması için çalışılan yollar olması ve ayrıca ticaret merkezi olan İstanbul ulaşım talebinin mevsimsel şartların önüne geçmesi nedeniyle sonuçların birbirine yakın çıktığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Lineer(Greenshields) model, hız-akım-yoğunluk ilişkileri, hava şartları, ulaşım, trafik.

## ABSTRACT

### TRAFFIC SPEED-FLOW-DENSITY MODELS IN DIFFERENT WEATHER CONDITIONS

GÜNEY, Ersin

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering, M. Sc. Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR

December 2012, 89 pages

The motorways of O-1 and O-2 are mainly used roads for transportation in İstanbul and many works have been performed to solve the probable problems by monitoring the traffic permanently.

In this study; firstly, theoretical information has been given for models relating to basic characteristics of traffic. Afterwards, by analyzing traffic data, collected from the particular sections of O-1 and O-2 motorways, speed-flow-density relationships were evaluated and relevant models for different weather conditions were developed. Linear (Greenshields) Model was utilized to produce these models.

Finally, the values obtained from speed-flow-density curves of relevant roads were compared with each other which are produced for different weather conditions. It was observed that the travel demand is not affected by seasonal changes since İstanbul is a big trade center and mainly used roads O-1 and O-2 motorways are always maintained against the negative effects of bad weather conditions. On this basis, the outcomes of the analysis were found close to each other.

**Key Words:** Linear(Greenshields) model, speed-flow-density relationships, weather conditions, transportation, traffic.

## TEŞEKKÜR

Araştırmanın başından sonuna kadar, benden desteğini ve yardımını esirgemeyen ve bana kendisiyle çalışma onurunu yaşatan değerli hocam, Sayın Doç. Dr. Ali Payidar AKGÜNGÖR 'e, dönüt ve düzeltmeleriyle çalışmamı zenginleştiren hocalarım Sayın Doç. Dr. Osman YILDIZ ve Sayın Doç. Dr. İlhami DEMİR 'e, bu çalışmanın yapılabilmesi için gerekli olan trafik verilerini benimle paylaşan İstanbul Büyük Şehir Belediyesi Trafik Müdürlüğüne ve Sayın Esmâ DİLEK 'e, ayrıca çalışma sürecinde beni her zaman destekleyen hayat arkadaşım Rabia Güney 'e ve son olarak yaşamımın rengi, moral kaynağım kızım Merve Duruya teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

|   |     |
|---|-----|
| <b>ÖZET</b> .....   | i   |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | iii |
| <b>TEŞEKKÜR</b> .....   | v   |
| <b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....   | vi  |
| <b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....  | ix  |
| <b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....  | x   |
| <b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....                                 | xiv |
| <b>1. GİRİŞ</b> .....   | 1   |
| 1.1. Kaynak Özetleri .....  | 3   |
| 1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....                                      | 8   |
| <b>2. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....  | 9   |
| 2.1. Hız, Akım ve Yoğunluk Modelleri .....                                  | 9   |
| 2.2. Trafiğin Türetilmiş Değişkenlerinin Elde Edilmesi .....                | 11  |
| 2.2.1. Trafik Akımının Tek Kesitte Yapılan Gözlemle Elde Edilmesi .....     | 11  |
| 2.2.2. İki Kesitte Yapılacak Gözlem İle Elde Edilebilecek Büyüklükler ..... | 12  |
| 2.2.3. Yoğunluğun Elde Edilmesi .....                                       | 14  |
| 2.2.4. Hızın Elde Edilmesi .....  | 15  |
| 2.3. Trafik Akım Modelleri .....  | 16  |
| 2.3.1. Hız-Yoğunluk Modelleri .....   | 17  |
| 2.3.2. Akım–Yoğunluk İlişkisi .....   | 25  |
| 2.3.3. Akım–Yoğunluk Modelleri .....  | 27  |



|   |           |
|---|-----------|
| 2.3.3.1. Parabolik Model .....  | 27        |
| 2.3.3.2. Logaritmik Model .....   | 30        |
| 2.3.4. Hız–Akım Modelleri .....   | 31        |
| <b>3. ARAŞTIRMA BULGULARI .....</b>   | <b>36</b> |
| 3.1. Hesap Yöntemi ve Kabuller .....  | 36        |
| 3.2. Sensör Yerlerini Gösteren Uydu Fotoğrafları .....  | 37        |
| 3.3. Hava Durumunun Açık olduğu Bir Günde (11 Temmuz 2011)<br>Sensörlerden Alınan Verileri İçin Geliştirilen Modeller ..... | 39        |
| 3.3.1. 85 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki<br>İlişkiler .....  | 39        |
| 3.3.2. 300 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki<br>İlişkiler .....   | 42        |
| 3.3.3. 305 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki<br>İlişkiler .....   | 45        |
| 3.3.4. 533 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki<br>İlişkiler .....   | 48        |
| 3.3. Havanın Yağmurlu Olduğu Bir Günde (14 Nisan 2011)<br>Sensörlerden Alınan Veriler İçin Geliştirilen Modeller .....      | 51        |
| 3.3.1. 61 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki<br>İlişkiler .....  | 51        |
| 3.3.2. 85 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki<br>İlişkiler .....  | 54        |
| 3.3.3. 286 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki<br>İlişkiler .....   | 57        |
| 3.3.4. 300 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki<br>İlişkiler .....   | 60        |
| 3.3.5. 305 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki<br>İlişkiler .....   | 63        |
| 3.3.6. 316 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki<br>İlişkiler .....   | 66        |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.3.7. 328 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki İlişkiler .....  | 69        |
| 3.3.8. 329 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki İlişkiler .....  | 72        |
| 3.5. Hava Durumunun Karlı Olduğu Bir Günde (8 Mart 2011) Sensörlerden Alınan Veriler İçin Geliştirilen Modeller ..... | 75        |
| 3.5.1. 3 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki İlişkiler .....  | 75        |
| 3.5.2. 61 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki İlişkiler .....   | 78        |
| 3.5.3. 329 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki İlişkiler .....  | 81        |
| <b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>  | <b>84</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>  | <b>86</b> |

## ÇİZELGELERİN DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

Çizelge 2.1. Hız-yoğunluk modellerinin özeti ..... 21

## ŞEKİLLERİN DİZİNİ

| <u>ŞEKİL</u>   | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| Şekil 2.1. Zamana bağlı yığışımlı taşıt grafiği .....                          | 11           |
| Şekil 2.2. Akım yukarı ve akım aşağı yöndeki taşıt gelişleri .....             | 12           |
| Şekil 2.3. Ötelenmiş yığışımlı taşıt eğrisi .....                              | 13           |
| Şekil 2.4. Mesafeye bağlı yığışımlı taşıt grafiği .....                        | 14           |
| Şekil 2.5. Film karelerinden yol zaman eğrilerinin çıkartılması .....          | 15           |
| Şekil 2.6. Akım-Yoğunluk ilişkisi temel diyagramı .....                        | 16           |
| Şekil 2.7. Arazi verilerinden elde edilen genel tip hız-yoğunluk eğrisi .....  | 19           |
| Şekil 2.8. Ampirik verilere karşı Greenshields modelinin performansı .....     | 20           |
| Şekil 2.9. Munjal ve Pipes hız-yoğunluk ilişkisi grafik gösterimi .....        | 22           |
| Şekil 2.10. Drew modelinin hız- yoğunluk ilişkisi grafik gösterimi .....       | 23           |
| Şekil 2.11. Standart hız ve yoğunluk için iki denklemin grafik gösterimi ..... | 24           |
| Şekil 2.12. Akım–yoğunluk ilişkisi .....                                       | 25           |
| Şekil 2.13. Lineer model için hız-akım–yoğunluk ilişkileri örneği .....        | 26           |
| Şekil 2.14. Parabolik model için akım-yoğunluk ilişkisi .....                  | 28           |
| Şekil 2.15. Hız–yoğunluk ilişkisi .....  | 29           |
| Şekil 2.16. Tipik hız–akım ve seyahat süresi-akım ilişkisi .....               | 31           |
| Şekil 2.17. Hız–akım ilişkisi .....  | 32           |
| Şekil 2.18. Hız, akım ve yoğunluk ilişkileri ve temel bağıntıları .....        | 33           |
| Şekil 2.19. Hız–yoğunluk hipotezleri .....                                     | 35           |
| Şekil 3.1. O-1 Karayolunda Çağlayan-Mecidiyeköy arası sensör yerleri ....      | 37           |
| Şekil 3.2. O-2 Karayolunda Ümraniye-Kavacık arası sensör yerleri .....         | 38           |
| Şekil 3.3. 85 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği ...  | 39           |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 3.4. 85 Numaralı sensör için u-k grafiği .....                         | 40 |
| Şekil 3.5. 85 Numaralı sensör için u-q grafiği .....                         | 40 |
| Şekil 3.6. 85 Numaralı sensör için q-k grafiği .....                         | 41 |
| Şekil 3.7. 300 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği . | 42 |
| Şekil 3.8. 300 Numaralı sensör için u-k grafiği .....                        | 43 |
| Şekil 3.9. 300 Numaralı sensör için u-q grafiği .....                        | 43 |
| Şekil 3.10. 300 Numaralı sensör için q-k grafiği .....                       | 44 |
| Şekil 3.11. 305 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği  | 45 |
| Şekil 3.12. 305 Numaralı sensör için u-k grafiği .....                       | 46 |
| Şekil 3.13. 305 Numaralı sensör için u-q grafiği .....                       | 46 |
| Şekil 3.14. 305 Numaralı sensör için q-k grafiği .....                       | 47 |
| Şekil 3.15. 533 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği  | 48 |
| Şekil 3.16. 533 Numaralı sensör için u-k grafiği .....                       | 49 |
| Şekil 3.17. 533 Numaralı sensör için u-q grafiği .....                       | 49 |
| Şekil 3.18. 533 Numaralı sensör için q-k grafiği .....                       | 50 |
| Şekil 3.19. 61 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği . | 51 |
| Şekil 3.20. 61 Numaralı sensör için u-k grafiği .....                        | 52 |
| Şekil 3.21. 61 Numaralı sensör için u-q grafiği .....                        | 52 |
| Şekil 3.22. 61 Numaralı sensör için q-k grafiği .....                        | 53 |
| Şekil 3.23. 85 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği . | 54 |
| Şekil 3.24. 85 Numaralı sensör için u-k grafiği .....                        | 55 |
| Şekil 3.25. 85 Numaralı sensör için u-q grafiği .....                        | 55 |
| Şekil 3.26. 85 Numaralı sensör için q-k grafiği .....                        | 56 |
| Şekil 3.27. 286 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği  | 57 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 3.28. 286 Numaralı sensör için u-k grafiği .....                        | 58 |
| Şekil 3.29. 286 Numaralı sensör için u-q grafiği .....                        | 58 |
| Şekil 3.30. 286 Numaralı sensör için q-k grafiği .....                        | 59 |
| Şekil 3.31. 300 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği   | 60 |
| Şekil 3.32. 300 Numaralı sensör için u-k grafiği .....                        | 61 |
| Şekil 3.33. 300 Numaralı sensör için u-q grafiği .....                        | 61 |
| Şekil 3.34. 300 Numaralı sensör için q-k grafiği .....                        | 62 |
| Şekil 3.35. 305 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği   | 63 |
| Şekil 3.36. 305 Numaralı sensör için u-k grafiği .....                        | 64 |
| Şekil 3.37. 305 Numaralı sensör için u-q grafiği .....                        | 64 |
| Şekil 3.38. 305 Numaralı sensör için q-k grafiği .....                        | 65 |
| Şekil 3.39. 316 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği   | 66 |
| Şekil 3.40. 316 Numaralı sensör için u-k grafiği .....                        | 67 |
| Şekil 3.41. 316 Numaralı sensör için u-q grafiği .....                        | 67 |
| Şekil 3.42. 316 Numaralı sensör için q-k grafiği .....                        | 68 |
| Şekil 3.43. 328 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği   | 69 |
| Şekil 3.44. 328 Numaralı sensör için u-k grafiği .....                        | 70 |
| Şekil 3.45. 328 Numaralı sensör için u-q grafiği .....                        | 70 |
| Şekil 3.46. 328 Numaralı sensör için q-k grafiği .....                        | 71 |
| Şekil 3.47. 329 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği   | 72 |
| Şekil 3.48. 329 Numaralı sensör için u-k grafiği .....                        | 73 |
| Şekil 3.49. 329 Numaralı sensör için u-q grafiği .....                        | 73 |
| Şekil 3.50. 329 Numaralı sensör için q-k grafiği .....                        | 74 |
| Şekil 3.51. 3 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği ... | 75 |
| Şekil 3.52. 3 Numaralı sensör için u-k grafiği .....                          | 76 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 3.33. 3 Numaralı sensör için u-q grafiği .....                         | 76 |
| Şekil 3.44. 3 Numaralı sensör için q-k grafiği .....                         | 77 |
| Şekil 3.55. 61 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği . | 78 |
| Şekil 3.56. 61 Numaralı sensör için u-k grafiği .....                        | 79 |
| Şekil 3.57. 61 Numaralı sensör için u-q grafiği .....                        | 79 |
| Şekil 3.58. 61 Numaralı sensör için q-k grafiği .....                        | 80 |
| Şekil 3.59. 329 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği  | 81 |
| Şekil 3.60. 329 Numaralı sensör için u-k grafiği .....                       | 82 |
| Şekil 3.61. 329 Numaralı sensör için u-q grafiği .....                       | 82 |
| Şekil 3.62. 329 Numaralı sensör için q-k grafiği .....                       | 83 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER DİZİNİ

|                      |                              |
|----------------------|------------------------------|
| <b>k</b>             | Yoğunluk                     |
| <b>k<sub>j</sub></b> | Sıkışıklık yoğunluğu         |
| <b>k<sub>m</sub></b> | Maksimum akımdaki yoğunluk   |
| <b>O<sub>i</sub></b> | İşgaliye                     |
| <b>L<sub>v</sub></b> | Ortalama araç uzunluğu       |
| <b>L<sub>d</sub></b> | Ortalama sensör uzunluğu     |
| <b>u</b>             | Hız                          |
| <b>u<sub>f</sub></b> | Serbest hız                  |
| <b>u<sub>m</sub></b> | Maksimum akım oranındaki hız |
| <b>q</b>             | Akım                         |
| <b>q<sub>m</sub></b> | Maksimum akım oranı          |

### KISALTMALAR DİZİNİ

|        |                                |
|--------|--------------------------------|
| İ.B.B. | İstanbul Büyükşehir Belediyesi |
|--------|--------------------------------|



## 1. GİRİŞ

Şehir içi ulaşımda yol kapasitesinin artırılmasının yanısıra mevcut kapasitenin etkin ve verimli kullanılması ulaşım kalitesinin artmasında büyük önem taşımaktadır. Herhangi bir yoldaki temel trafik büyüklüklerinden hız, akım ve yoğunluk değerlerinin belirlenmesi o yolun geometrik dizaynının yapılabilmesi ve uygun trafik yönetim tekniklerinin geliştirilebilmesi için çok önemlidir [1]. Bu nedenle, ilgili büyüklükler ve aralarındaki ikili matematiksel ilişkiler ilk ortaya konulduğundan bu yana birçok araştırmacı ve uygulayıcı tarafından kullanılmaktadır [1]. Ayrıca 1950'li yılların başından bu yana, hava koşullarının sürücü davranışları ve trafik akımını etkilediği kabul edilmiş olup bu yönde de çeşitli çalışmalar yapılmaktadır [2]. Büyük şehirlerde trafik talebinin hızla artması, özellikle şehir merkezlerinde ve bağlantı yollarında yüksek trafik tıkanıklığına, hava, gürültü kirliliğine zaman ve enerji kayıplarına neden olmaktadır [3].

Nüfusun en fazla olduğu ilimiz İstanbul'da karayollarındaki tıkanıklık, bu durumu gösteren tipik bir örnektir. Araçların durma seviyesinde hareket ettiği karayolundaki trafik tıkanıklığı hemen hemen aynı yerlerde ve zamanlarda oluşmaktadır. Ayrıca, çok şeritli karayolu sistemlerinde gözlenen şerit değiştirme manevrası tıkanıklık durumunda yapılamamakta ve yolu kullanmak isteyen her yeni taşıt, kuyrukta beklemek zorunda kalmaktadır [4,5].

Araç sayısı dikkate alınarak yapılan ulaşım planlaması, ulaşım kapasitesinin artırılması yani daha fazla yol yapılması gereksinimini beraberinde getirmektedir. Bunun sonucunda genişleyen yaşam alanı ve uzayan mesafeler, insanları daha fazla araç kullanımına sevk etmekte ve trafik artışına neden olmaktadır [4]. Ancak ulaşım altyapısı tamamlanmış olan şehirlerde yeni yollar yapılarak trafik tıkanıklığı probleminin çözülmesi mümkün görünmemektedir. Bu durumda trafik yönetim tekniklerinin

uygulanarak kapasitenin maksimum oranda kullanılması en etkin çözüm olacaktır.

Sonuç olarak; büyük ve kalabalık şehirlerde iş, eğitim, sağlık ve diğer amaçlı etkinlikler için yapılan yolculuklar, kullanılan yollarda büyük değerlerde taşıt trafiği yaratmaktadır [4]. Oluşan trafik yoğunluğu; yalnızca bir rahatsızlık unsuru olarak değil aynı zamanda ekonomik olarak da ülkeye ciddi zarar vermektedir. Bu nedenle, hız, akım ve yoğunluk büyüklükleri belirlenmeli ve bu parametreler yardımı ile geliştirilen modeller, etkin ve verimli trafik uygulamalarında çözüm için kullanılmalıdır.

## 1.1. Kaynak Özetleri

Ulaştırma alanında geleceğe yönelik trafik tahminleri yapabilmek için literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Karayolu altyapısını daha verimli kullanabilmek için yapılan bu çalışmalara aşağıda yer verilmektedir.

Şahin ve Zorer, İstanbul Boğaziçi Köprüsü yolu için hız, akım, yoğunluk değerlerinden faydalanmış ve karayolunun belirli kesimlerinde sabah zirve saatlerinde yapılan sayım ve gözlemlerle, yolu kullanan trafik akımının bazı özelliklerini, darboğazın yerini ve oluşma zamanını saptamışlardır. Yolu darboğaz kesiminde yapılabilecek iyileştirmeler için önerilerinde bulunmuşlardır [1].

Akin, Sisopiku ve Skabardonis, farklı hava koşulları için belirledikleri kesimlerde Uzaktan trafik mikrodalga sensör (UTMS) verilerini kullanarak hız ve akım arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. İstanbul metropoliten alanında iki karayolu koridorundan elde edilen UTMS dedektör verilerini bu amaçla kullanmışlardır. Hız ve akım arasındaki ampirik ilişkiler için; hava durumu (açık, yağmur, sis, kar), yüzey durumu (kuru, ıslak veya buzlu) ve trafikteki ağır vasıtaların yüzdesini dikkate almışlar ve bu durumlara göre analizler yapmışlardır [2].

Xia ve Shao, Hong Kong adasında, farklı yol ağları için bir trafik akım modeli önermişlerdir. Hafta içi ve hafta sonu için adada rastgele seçilen üç sayım istasyonunda trafik akımlarını gözlemlemişler, buradan elde edilen veriler ile oluşturdukları trafik akım modelini diğer istasyonlardaki verilerin tahmininde kullanmışlar ve gerçek veriler ile karşılaştırmışlardır. Çalışmada aynı zamanda bu modelden çıkan sonuçlara göre, emisyon ve kirliliğin ne kadar olacağı tahmin edilmiştir. Bu tahminler üç farklı hava kirliliği ölçüm istasyonundaki gerçek değerler ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta modelin Hong Kong Adasında başarıyla uygulandığını ayrıca kara noktalarda tıkanıklık durumlarını tahmin etmek için de kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir [3].

Gedizlioğlu ve diğerleri İstanbul Boğaziçi Köprüsü ve köprüye bağlanan O-1 karayolunda sabah ve akşam zirve saatlerde meydana gelen tekrarlı trafik tıkanıklığı incelemişlerdir. Ayrıca saha verileri kullanılarak oluşturulan ölçeklendirilmiş yığışımlı taşıt sayısı eğrilerine göre darboğazların yanı sıra, gözlem kesimindeki trafik akımlarının çeşitli özellikleri de saptanmıştır [4].

Lim ve Combinido, U dönüşleri için mikroskobik bir trafik modeli kullanarak, serbest akımdan sıkışık akıma geçişlerin yoğunluğunu incelemişlerdir. Kavşaklarda trafik akımını artırmak ve araçların birbirini minimum etkilemesini sağlamak için hız-yoğunluk grafiklerinden faydalanılarak U dönüşü olan yerlerde trafik hız-akım-yoğunluk modelleri geliştirmişlerdir [5].

Seliaman, Duffuaa, Andijani, 2002 yılında yaptıkları “Simülasyon kullanarak Nafrah için trafik akım modellerinin değerlendirilmesi” adlı çalışmalarında; bir trafik akım simülasyonu kullanarak nafrah dönemi için uygun olan trafik akım-hız-yoğunluk modelleri geliştirmişlerdir. Literatürde yer alan Greenshields, Edie ve parçalı lineer modelleri için gerçek veriler ile grafikler çizmişler ve sayısal sonuçları karşılaştırmışlarıdır [6].

Bar-Gera, İsrail Ayolon otoyolundan elde ettiği veriler ile hız, akım ve yoğunluk arasındaki ilişkileri incelemiş ve büyük veri kümelerinin kullanılması durumunda oluşabilecek hatalara karşı bir çözümleri geliştirmiştir [7].

Li, literatürde yaygın olarak bilinen Greenberg, Greenshields ve Underwood modellerini kapsamlı olarak incelemiştir. Serbest trafik koşullarında yoğunluk-akım-hız değerlerinin aralarındaki ilişkiler için karşılaştırmalı değerlendirme yapmıştır [8].

Aydın, 2007 yılında yaptığı “İzmir Çevre Yolu’nun Altınyol Trafiği Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi” adlı çalışmada, 1999, 2004 yılları ve 2007 yılı gözlem verilerinden yola çıkarak trafik akımının temel karakteristiklerini elde etmiş, Altınyol için trafiğin değişimi ve yeni açılan çevre yolunun Altınyol trafiği üzerindeki etkisini irdelemiştir [9].

Gedizlioğlu ve Akad, 0-1 karayolunun Asya-Avrupa ve Avrupa-Asya yönlerinde Boğaziçi Köprüsü'ne yaklaşan kesimlerinde, hafta içi sabah ve akşam zirve trafik akımlarını gözlemlemişlerdir. Asya-Avrupa yönü için belirlenen karayolu kesimi için bir simülasyon modeli oluşturulmuştur. Ayrıca Avrupa-Asya yönü için, özellikle Boğaziçi Köprüsü gişe sahası üzerinde durulmuş ve sahada gözlenen değişik işletim uygulamalarının, sahaya giren ve sahadan çıkan trafik akımları üzerindeki etkilerini belirlemişlerdir [10].

Byun, New Jersey otoyolunda belirlediği kesimlerden topladığı verileri kullanarak açık ve yağmurlu hava şartları ile tıkanık trafik koşullarında faydalanılabilen bir hız-akım modeli geliştirmiştir [11].

Fank, mevcut trafik kontrol çalışmalarını incelemiş ve trafik kontrolü için bir trafik akım modeli geliştirmiştir. Değişen hız limitleri kombinasyonu için bilgisayar destekli geliştirdiği modeli otoyoldan topladığı gerçek veriler ile kontrol etmiştir. Farklı trafik şartlarında hız-yoğunluk ilişkisini kullanarak yaptığı tahminlerde modelin gerçek değerlere yakın sonuçlar verdiğini belirlemiştir [12].

Wang ve diğerleri trafik hız-akım-yoğunluk arasındaki ilişkileri inceleyerek bir hız-yoğunluk modeli ailesi geliştirmiştir. Önerilen bu model için Kaliforniya I-80 yolundan alınan gerçek verileri ampirik gözlemler ile karşılaştırmışlardır [13].

Lu ve diğerleri literatürde yer alan Lighthill-Whitham-Richards modelini kullanarak akım-yoğunluk ilişkisine göre bir trafik akım-yoğunluk modeli geliştirmiştir. Geliştirilen bu modelin fonksiyonunu; belirledikleri yolda yaptıkları gözlemler sonucu elde ettikleri gerçek verileri kullanarak trafik tahmini yapmak için kullanmışlardır [14].

Erlingsson, Jonsdottir, Thorsteinsson, trafik detektörlerinden alınan dataların dört farklı araç yolunda trafik akım karakterleri ile kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Van Aerde tarafından geliştirilen model ile literatürde yaygın olarak kullanılan modelleri belirlenen yollarda hız, akım ve yoğunluk parametrelerinin tahmini için karşılaştırmışlardır [15].

Chen, Zhang ve Wang, yaptıkları çalışmada otoyol trafik akım modelinin önemini analiz etmişler ve trafik değişkenlerine bağlı; yoğunluk, hız ve akım arasındaki ilişkiyi yansıtan bir trafik akım modeli üzerinde çalışmışlardır. Trafik verileri kullanılarak ana eğrilere bağlı olarak önerilen modeli klasik modellerden Greenshields ile karşılaştırmışlardır [16].

Li, Chen ve Ni, Georgia Atlanta'da belirlenen yerlerdeki detektörlerden alınan verileri kullanarak hız-yoğunluk modelleri geliştirmişlerdir. Bu modeller için ampirik veriler ile gerçek verileri kullanarak çizdikleri eğriler yardımıyla değerlerin doğruluğunu kontrol etmişlerdir [17].

Heydecker ve Addison, İngiltere otoyol ağında üç farklı yoldan elde ettikleri trafik verileri ile trafik akımının, değişken hız limitleri altında analizini yapmışlar ve hız-yoğunluk arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Çalışmada literatürdeki Underwood modelinden faydalanılarak yolda her bir şerit için ayrı ayrı modeller türetilmiş ve bu modeller hız tahminleri için kullanılmıştır [18].

Hussain, Umar ve Farhan, yaptıkları çalışmada Malezya için motosiklet yollarını incelemişlerdir. Motosiklet akım ve hız değerlerini mevcut motosiklet şeridi boyunca izlemişler ve motosiklet hız-yoğunluk verilerini yol genişliğinin 1,7 m'den küçük ve büyük olması durumları için toplayarak temel diyagramları çizmişlerdir. İki durum içinde yaptıkları analizler ile motosiklet hız-yoğunluk verilerinin Greenberg Logaritmik Modeli için uygun olduğunu görmüşler ve buna göre motosiklet akım-yoğunluk ile hız-akım modellerini geliştirmişlerdir [19].

Ardekani, Ghandehari ve Nepal, Dallas otoyolunda dört konvansiyonel model (Greenshields, Greenberg, Underwood, ve Drake) ve bu modellerden türetilen beş model olmak üzere toplam dokuz model için trafik hız-akım-yoğunluk değerlerini incelemiştir. Drake modeli kullanılarak yapılan tahminlerin otoyol kapasite şartlarındaki serbest akım, hız ve yoğunluk için en doğru sonuçları verdiğini, bu modeli Underwood modelinin takip ettiğini ortaya koymuşlardır [20].

Yang, metodolojik bir çerçevede algoritma ve veri madenciliğine bağlı olarak trafik akım modelleri geliştirmiştir, daha sonra trafik şartlarının (tıkanık veya serbest akım) tahmini için Visual Basic programı ile bir şok dalga simülasyon metodu geliştirmiştir. San Antonio ve Texas yollarındaki gerçek verileri kullanarak bu metot ile yapılan tahminleri kontrol etmiştir [21].

Öğüt, San Diego yolundan sabah saat 5:00 ile 10:00 arası için detektörlerden topladığı veriler ile tıkanık akım seviyesi için akım-hız ve akım-yoğunluk modelleri geliştirmiştir. Lineer eğriler çizerek yaptığı analizler sonucu alternatif regresyon metodu hız-yoğunluk modelinden türettiği akım-yoğunluk modelinin en küçük kareler yöntemi hız-yoğunluk modelinden geliştirdiğine göre tahmin modeli olarak daha doğru sonuçlar verdiğini ve kullanılabilirliğini ortaya koymuştur [22].

Kalaei, Amerika Portland otoyolunda hız-akım oranı için incelemelerde bulunmuştur. Bu oranın birden küçük ve büyük olması durumları için araziden topladığı veriler ile hız-akım ilişkilerini incelemiştir. Çalışma kapsamında otoyol kapasitesi için darboğaz süresi, oluşma ve sona erme durumlarında hız-akım ilişkilerinin tahmini için bir metot geliştirilmiş ve literatürdeki modeller ile karşılaştırılmıştır. Hızın akıma oranının bire yaklaşması durumunda tahminlerin doğruluğunun yüksek olduğunu belirlemiştir [23].

## 1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışmasının amacı; konuyla ilgili teorik ve uygulamaya yönelik altyapının zenginleşmesine ulusal ve uluslararası düzeyde fayda sağlamaktır. Yeni altyapı yatırımları trafik sorununu tamamen çözemez ve altyapı yatırım maliyetleri oldukça fazladır. Bunun yerine karayolu altyapısının olduğu gibi ancak daha verimli kullanılması için araştırmalar yapılmalı ve günümüzün ihtiyaçlarına uygun bir trafik yönetim tekniği kullanılmalıdır.

Tez kapsamında; verilerin elde edilebilir olması nedeniyle nüfusu en fazla olan İstanbul ilimiz için, O-1 karayolunun Avrupa-Asya yönünden Boğaziçi Köprüsü'ne ve O-2 karayolunun Asya-Avrupa yönünden Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'ne yaklaşan kesimlerindeki trafik hız-akım-yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiler modellenmiştir. Bu amaçla veriler, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Müdürlüğü'nün kullandığı sensörlerden elde edilmiş olup resmi yazı ile İ.B.B.'den temin edilmiştir. Değişen hava koşullarında bir günlük ve üç günlük zamanlar için alınan veriler analiz edilmiş ve bir gün için alınan verilerin tez kapsamında kullanılmasına karar verilmiştir. Trafik sayımlarından elde edilen verilerin incelenmesi sonucu karayolu üzerindeki yoğunluk, hız değişimleri ve akımdaki dalgalanma hareketleri gibi özellikler elde edilmiştir. Bu özelliklere göre farklı hava durumlarında; yağmurlu, karlı ve açık hava şartları için belirlenen yerlerdeki trafiğin hız-akım-yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiler değerlendirilerek değişen hava durumları için uygun modeller geliştirilmiştir.

Yapılan bu çalışma ile araç trafiği problemlerinin yanısıra trafiğe bağlı hava ve gürültü kirliliği gibi değişkenlerin neden olduğu sorunların azaltılmasına katkıda bulunulması amacıyla literatüre eklenecek olan yeni modellerin, altyapı sorunları olan ülkemiz için yararlı olacağı düşünülmektedir.



## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde; ilk olarak hız, akım ve yoğunluk modellerinde kullanılacak olan temel parametrelerin tanımlanması yapılarak bunların nasıl elde edildikleri açıklanacaktır. Daha sonra ise literatürde yaygın olarak kullanılan modeller hakkında bilgi verilecektir.

### 2.1. Hız, Akım ve Yoğunluk Modelleri :

Trafik akım karakteristikleri; hız, trafik yoğunluğu ve trafik akımını içermektedir [6]. Ulaştırma mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan üç temel trafik özelliği arasındaki ilişkinin; Hız karşısında akımın, hız karşısında yoğunluğun ve akım karşısında yoğunluğun grafiksel gösterimi ulaşım uzmanları tarafından birçok araştırmada kullanılmaktadır [7].

Literatürde kullanılan modeller, hız-yoğunluk modelleri, akım-yoğunluk modelleri ve hız-akım modelleri olarak adlandırılmaktadır.

Bu modellerin belirlenmesinde faydalanılan temel denklem aşağıda belirtilmiştir [8].

$$q = u \cdot k \quad (2.1)$$

Burada “q” akım, “u” hız ve “k” yoğunluğu temsil etmektedir [8].

Modellerin açıklamalarına geçmeden önce kullanılacak olan temel parametrelerin tanımlanması ve bunların nasıl elde edildiklerinin açıklanması konunun kavranması açısından uygun olacaktır.

Akım (q); bir saatin belli dilimlerinde (genellikle 15 dakika) yolun bir noktasından geçen araç sayısının bir saatlik zaman dilimine dönüştürülmesidir. Akım değeri veya akım oranı şeklinde de adlandırılabilir [4]. Burada karşılaşılan diğer bir tanım ise hacimdir. Hacim; yolun bir noktasından belli bir zaman aralığında (genellikle bir saat) geçen araç sayısıdır [24]. Akım trafiğin temel değişkenleri kullanılarak,

$$q = \frac{n}{t} \quad (2.2)$$

olarak ifade edilir; burada, n taşıt sayısı ve t zaman olduğundan, akım için taşıt/saat birimi elde edilir [4].

Yoğunluk (k); herhangi bir anda belirli bir yolun birim uzunluğunda bulunan taşıt sayısıdır. Buradaki birim uzunluk genellikle 1 kilometre olarak kullanılır. Yoğunluk birim uzunluk içindeki tüm şeritlerin toplamı veya sadece bir şerit için tanımlanabilir. Trafiğin temel değişkenleri kullanılarak,

$$k = \frac{n}{x} \quad (2.3)$$

olarak ifade edilir. Burada, x yol uzunluğu olduğundan, yoğunluk için taşıt/uzunluk birimi elde edilir [4].

Hız (u); trafiği meydana getiren taşıtların toplu halde oluşturdukları akımın birim zamanda aldığı yoldur. Buradaki birim zaman, genellikle, 1 saat ve 1 saniye olarak kullanılır. Taşıtların tek tek hızlarından söz edilebileceği gibi, trafik akımının hızından da bahsedilebilir. Temel değişkenlerden faydalanarak,

$$u = \frac{x}{t} \quad (2.4)$$

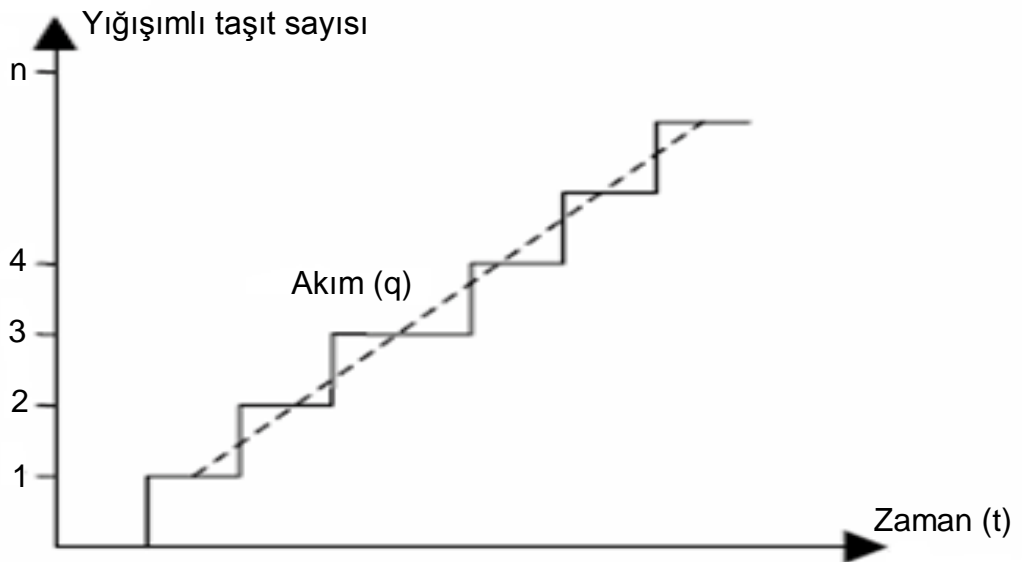
olarak ifade edilir. Buna göre,  $x$  alınan yolun uzunluğu olduğunda, hızın birimi uzunluk/zaman olarak elde edilir [4].

Hız-akım-yoğunluk ilişkileri incelenirken hız, ortalama seyahat hızı olarak alınacaktır. Çünkü bu ölçüt, trafik akımı içindeki bağımsız araçlardan kolayca hesaplanabilmekte ve diğer değişkenlerle istatistiksel olarak ilişkinin kurulmasındaki en verimli ölçüttür [9]. Ortalama seyahat hızı; belirli bir yol kesitinden geçen taşıtların geçiş zamanlarının ortalamasının yol kesitinin uzunluğuna bölünmesi ile elde edilen hızın değeridir [24].

## 2.2. Trafiğin Türetilmiş Değişkenlerinin Elde Edilmesi

### 2.2.1. Trafik Akımının Tek Kesitte Yapılan Gözlemle Elde Edilmesi

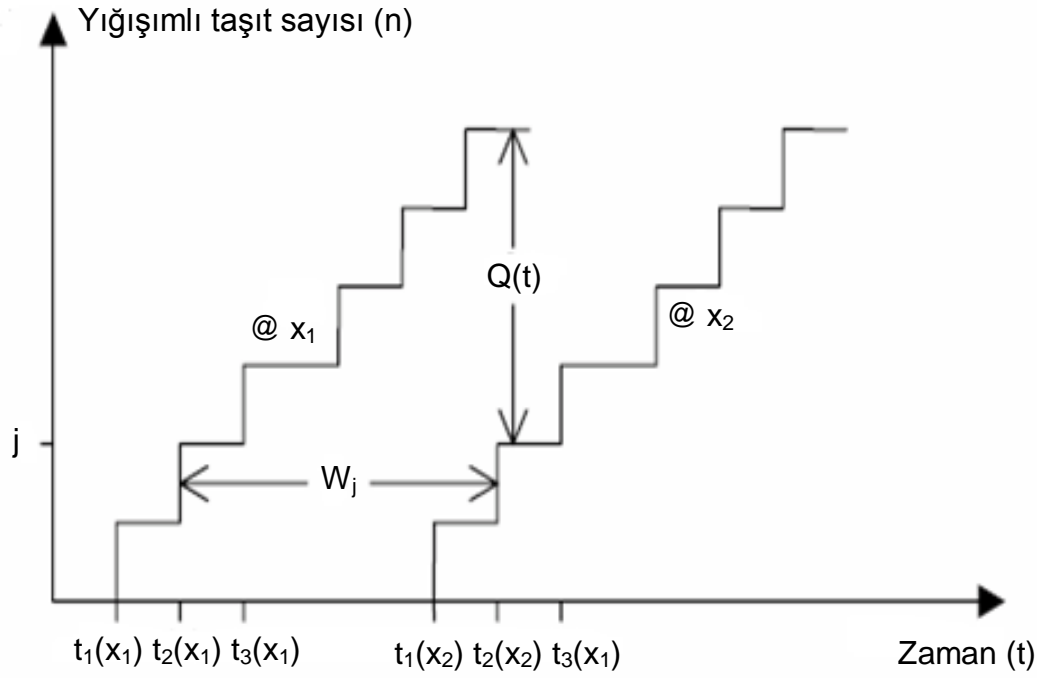
Belirli bir gözlem kesitinden her taşıt geçişi zamanla birlikte kaydedilir ve bu kayıtların grafiği çizilirse, bir adım fonksiyonu elde edilir (Şekil 2.1.). Burada basamakların orta noktaları birleştirilecek olunursa, bir doğru elde edilecektir. Bu doğrunun eğimi,  $(n/t)$  ise ortalama akım değerini verir [9].



**Şekil 2.1.** Zamana bağlı yığılımlı taşıt grafiği [9]

## 2.2.2. İki Kesitte Yapılacak Gözlem İle Elde Edilebilecek Büyüklükler

Birden fazla kesitte yapılacak gözlemlerle çeşitli büyüklükler elde edilebilir. Şekil 2.2.' de  $x_1$  ve  $x_2$  noktalarına ait (trafik yönü  $x_1 \rightarrow x_2$ ) taşıt gelişlerinin yığılımlı fonksiyonları görülmektedir [9].



**Şekil 2.2.** Akım yukarı ve akım aşağı yöndeki taşıt gelişleri [9]

Burada;

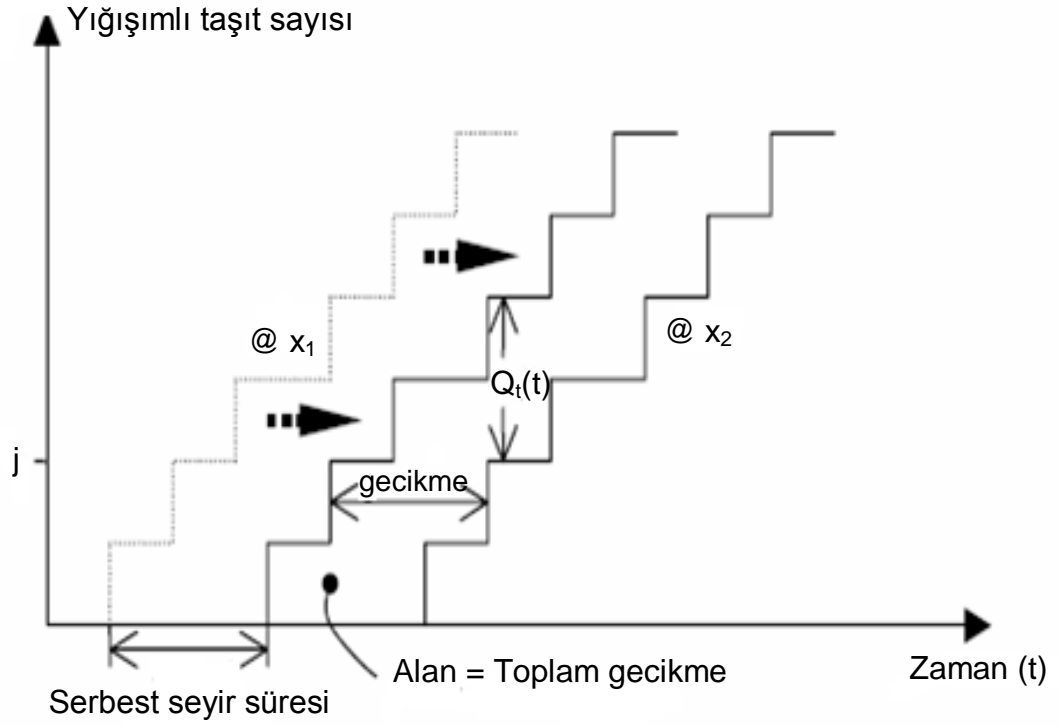
$Q(t) \rightarrow x_1$  ve  $x_2$  kesitler arası taşıt sayısı,

$W_j \rightarrow j$  taşıtı için  $x_1$  ve  $x_2$  eğrileri arası seyir süresi,

$\sum W_j \rightarrow x_1$  ve  $x_2$  kesitleri arası toplam seyahat süresi

Ort. Seyahat Süresi  $\rightarrow \sum W_j/n$  veya ( $x_1$  ve  $x_2$  arası alan) /  $n$  'dir.

Eğer akım yukarı  $x_1$  eğrisi serbest akım süresi kadar aşağı  $x_2$  eğrisine ötelenirse (Toplam seyir süresi–Serbest seyir süresi) elde edilen farklar yatayda gecikme süresini, düşeyde de geciken taşıt sayısı  $Q_t(t)$ ' yi verir. İki eğri arası alan (Şekil 2.3.) da toplam gecikmeyi verir [9].



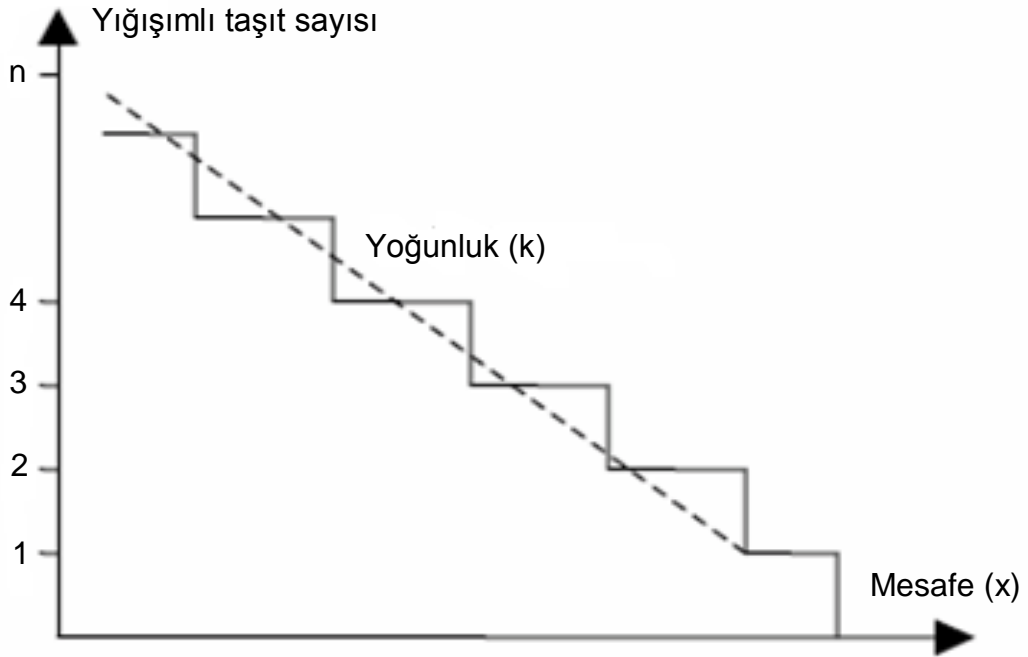
**Şekil 2.3.** Ötelenmiş yığılımlı taşıt eğrisi [9]

Bununla beraber  $x_2$  kesitinde  $Q_t(t)$  adet taşıt sayılmamış olacaktır. Çünkü seyahat süresi içinde akım aşağı kesitten geçmemiş taşıtlar bulunmaktadır. Dolayısıyla kuyruk uzunluğu, serbest seyir süresi kadar ötelenmiş eğriler arasındaki düşey fark olacaktır [9].

### 2.2.3. Yoğunluğun Elde Edilmesi

Bir  $t$  anında  $x_1$  ve  $x_2$  kesitleri arasındaki yol kesiminde bulunan taşıtların sayısının yığışımlı eğrisi,  $x_1$  ve  $x_2$  arasındaki mesafenin bir fonksiyonu olarak çizilebilir (Şekil 2.4.). Bu fonksiyona uygun çizilen doğrunun eğimi yoğunluğu ( $k$ ) vermektedir. Buna göre, belirli bir uzunluk boyunca ölçülen yoğunluğun büyüklüğü (negatif) eğimin mutlak değeridir [9].

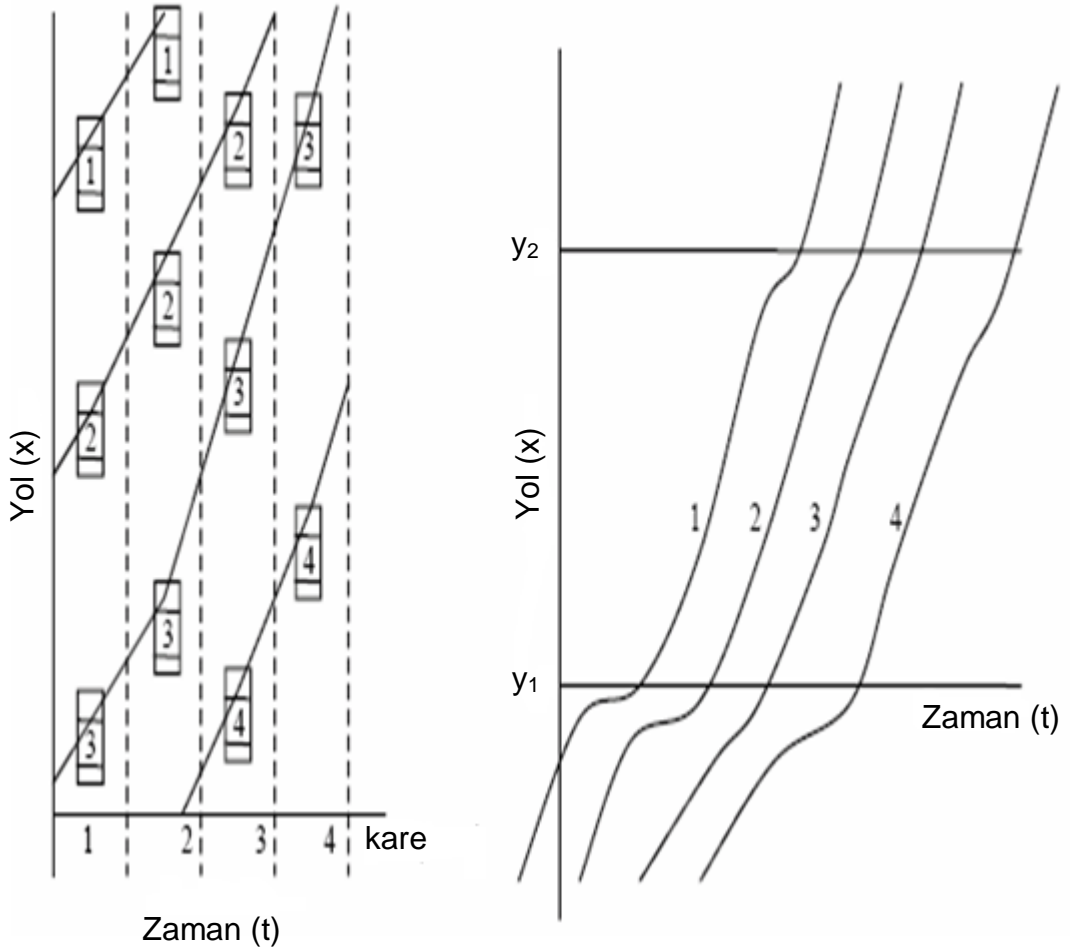
Bir ifadeyle de yoğunluk ( $k$ ); belirli bir  $t$  anında belirli bir karayolu kesiminde bulunan taşıt sayısı toplamının tekil takip mesafelerinin toplamına bölünmesi şeklinde tanımlanır. Burada bahsedilen tekil takip mesafeleri Şekil 2.4.'deki basamak genişlikleridir [9].



Şekil 2.4. Mesafeye bağlı yığışımlı taşıt grafiği [9]

## 2.2.4. Hızın Elde Edilmesi

Tek şerit üzerinde yukarıdan çekilen bir film ile araçlar yan yana sıralanır ve değişik karelerdeki aynı taşıtlar birbirleriyle bir çizgi yardımıyla birleştirilirse, taşıtlar için yol-zaman eğrileri elde edilmiş olur. Şekil 2.5.'teki yol-zaman eğrilerinin eğimi hızı vermektedir [9].



**Şekil 2.5.** Film karelerinden yol zaman eğrilerinin çıkartılması [9]

### 2.3. Trafik Akım Modelleri

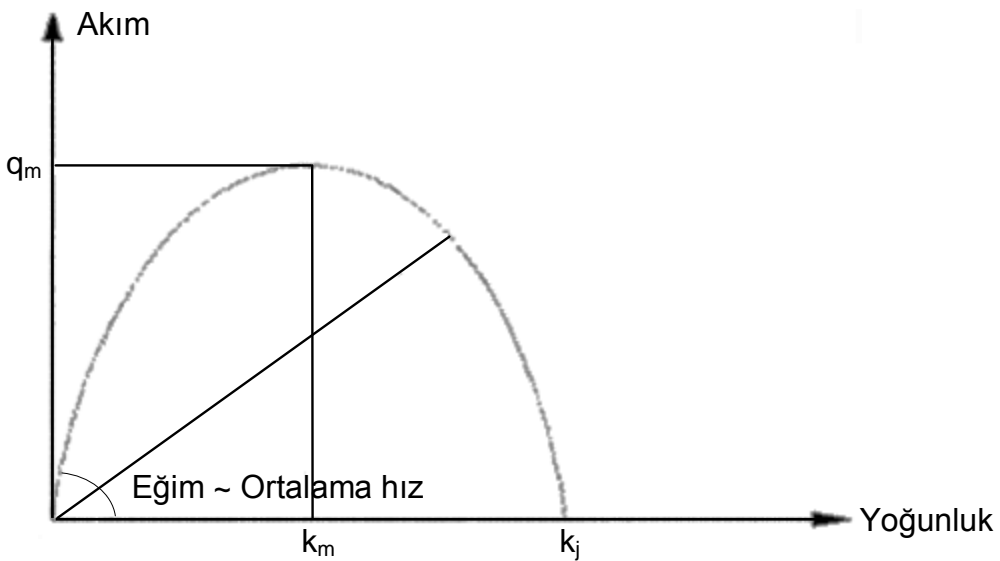
Trafik analizi ve tasarımının bazı türleri kesintisiz zaman akışı dikkate alınarak, ortalama karakteristik değeri ve diğer bazı karakteristikler arasındaki fonksiyonel ilişki kullanılarak ortaya konulmaktadır. Hız( $u$ ), yoğunluk( $k$ ) ve akım( $q$ ) değişkenleri arasındaki ilişkiye "Trafik akım modeli" denilmektedir [25].

Yukarıdaki temel trafik parametreleri için üç değişkenli bir boyut analizi aşağıdaki ilişkiyi vermektedir [25].

$$q = u \cdot k \quad (2.5)$$

Denklem 2.5 'de;  $q$ : Ortalama akım (araç/saat),  $u$ : Ortalama akım hızı (km/saat),  $k$ : Ortalama yoğunluk (araç/km) olarak ifade edilmektedir [25].

Buradan çıkarılacak denklemlerde kullanılacak semboller ise:  $q_m$ : Maksimum akım oranı,  $u_f$ : Serbest hız veya serbest akım şartlarındaki hız,  $u_m$ : Maksimum akım oranındaki hız,  $k_j$ : Sıkışıklık(tıkanıklık) yoğunluğu ve  $k_m$ : Maksimum akımdaki yoğunluk şeklinde tanımlanmaktadır [25].



Şekil 2.6. Akım-Yoğunluk ilişkisi temel diyagramı [12]



### 2.3.1. Hız-Yoğunluk Modelleri

Bir şerit veya bir karayolundaki araç yoğunluğundaki artış sonucu sürücülerin hız azaltma eğilimine girdiği gözlenmektedir. Hız ve yoğunluk bilindiğinde akım hesaplanabilmektedir. Literatürde yaygın olarak bilinen hız-yoğunluk modelleri şunlardır [26]:

1. Lineer Model (Greenshields),
2. Logaritmik Model (Greenberg),
3. Genelleştirilmiş Tekli-Rejim Modelleri,
  - Pipes-Munjial
  - Drew
  - Bell-Shaped Curve
4. Multirejim Modelleri.

Hız-yoğunluk ilişkisinin modellenmesi Greenshields lineer modeli ile başlamıştır [15]. Greenshields lineer modeli matematiksel işlemlerde kolaylık sağlamakta ancak  $k_j$ 'nin gerçekçi değerlerini vermemekte ve doğrusallık varsayımı gözlenen verilerin çoğunu kabul etmemektedir. Greenberg logaritmik modeli ise  $k_j$ 'nin daha gerçekçi değerlerini verir ve gözlenen verilere daha iyi uyum sağlar ama yoğunluğun düşük değerlerindeki hızlarda zayıf tahminler verebilmektedir [26].

Underwood tarafından geliştirilen benzer bir modelde ise gözlenen verilere daha iyi uyum sağlamanın yanında yoğunluğun düşük değerlerindeki hızda daha iyi bir tahmin verebilmekte ancak bu modelde yüksek hızda zayıf tahminler elde edilmektedir [26].

Multirejim modelleri yukarıda belirtilen eksikliklerin giderilmesi için hız-yoğunluk eğrilerinin çeşitli bölümleri için farklı modeller kullanılarak geliştirilmiş modellerdir [26].

Burada bir model tek başına en iyi olmamasına karşın Greenshields lineer modeli kullanım kolaylığı ile kesintisiz trafik akımı davranışını anlamada fikir vermekte ve yeterli oranda gözlenen veriler için tatmin edici bir uyum sağlayarak kullanılabilir sonuçlar verebilmektedir [26].

Lineer model; trafik akım teorisi Greenshields (1934) ile başlamıştır. Karayolunda ölçülen trafik akım ve hızı kullanılarak hız ve yoğunluk arasında lineer bir ilişki olduğu tespit edilmiştir [14].

Greenshields modeli hem sıkışık hem de sıkışık olmayan rejim için kullanılabilen basit ve gerçek değerlere en yakın sonuçları veren bir modeldir. Bu nedenle birçok bilimsel çalışma bu modeli geliştirmek için yapılmıştır [15]. Bu tez çalışmasında da hız-akım-yoğunluk modelleri geliştirilirken Greenshields modeli esas alınmıştır.

Greenshields trafik karakterlerinin başlangıç gözlemleri ile hız ve yoğunluk arasında doğrusal bir ilişki olduğunu belirterek aşağıdaki ifadeyi önermektedir [26].

$$u = u_f \cdot \left(1 - \frac{k}{k_j}\right) \quad (2.6)$$

Greenshields hız ve yoğunluk arasında lineer bir ilişki olduğu tahmini ile akım-yoğunluk ve akım-hız arasında ise parabolik bir ilişki geliştirmiştir [11].

Lineer hız-akım modeli, akım-yoğunluk modeli, ve hız-yoğunluk modeli sırasıyla aşağıdaki eşitlikler ile göstermektedir [16].

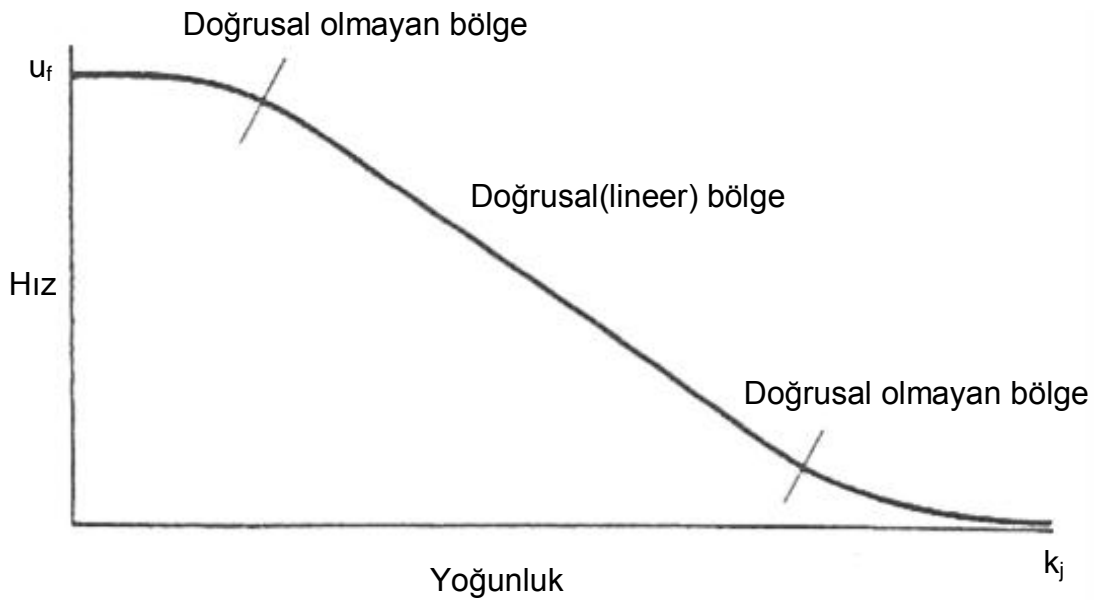
$$u = u_f \cdot \left(1 - \frac{k}{k_j}\right) \quad (2.7)$$

$$q = k \cdot u_f \cdot \left(1 - \frac{k}{k_j}\right) \quad (2.8)$$

$$q = k_j \cdot u \cdot \left(1 - \frac{u}{u_f}\right) \quad (2.9)$$

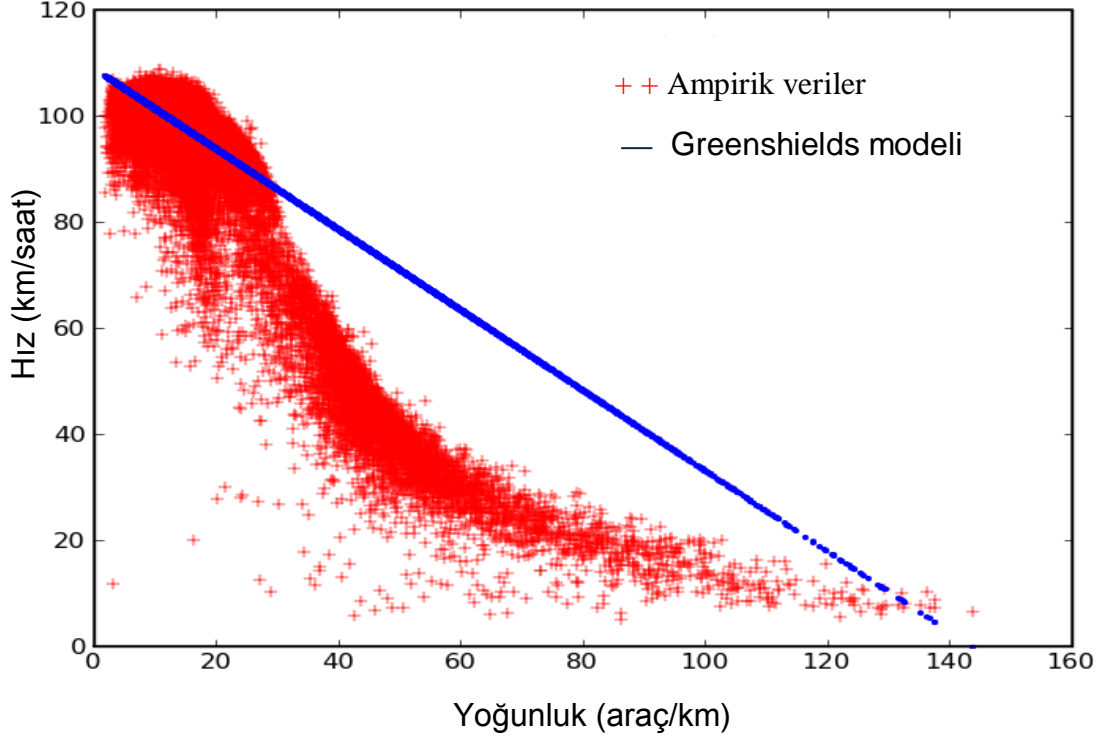
Burada  $q$  akım (araç/saat),  $u$  hız (km/saat),  $k$  yoğunluk (araç/km),  $u_f$  serbest akım şartlarında hız ve  $k_j$  tıkanıklık yoğunluğu ifade etmektedir [16].

Bu modelin kullanımı kolaydır ve araştırmacılar arazi verileri ile model arasında iyi bir korelasyon olduğunu tespit etmiştir ancak gözlemlerin tüm aralıklarında aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi her zaman doğrusal bir ilişki bulunmamaktadır [26].



**Şekil 2.7.** Arazi verilerinden elde edilen genel tip hız-yoğunluk eğrisi [26]

Aşağıdaki grafik örneğinde Greenshields Modelinin gözlemlenen verilere göre performansı gösterilmiştir.



**Şekil 2.8.** Ampirik verilere karşı Greenshields modelinin performansı [17]

Logaritmik model; Greenberg logaritmik (1959) modeli yüksek yoğunluk olan yollarda kullanılmak üzere tasarlanmış bir modeldir [20]. Bu hız-yoğunluk modeli Greenberg tarafından aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir [26].

$$u = u_m \cdot \ln\left(\frac{k_j}{k}\right) \quad (2.10)$$

Bu model sıkışık akımlarda arazi verileri ile iyi uyum sağlarken, düşük yoğunluk değerlerinde hız değerlerinin tahmininde doğru sonuçlar vermemektedir. Denklem 2.10 'da yoğunluk ( $k$ ) $\rightarrow 0$  için incelendiğinde eşitlikten bu durum görülebilmektedir [26].

Serbest akım koşullarında hız-yoğunluk arasındaki ilişkiler için tasarlanan diğer bir model de Underwood (1961) modelidir. Bu model ise aşağıdaki şekilde formüle edilmiştir [18].

$$u = u_f \cdot e^{-k/k_m} \quad (2.11)$$

Underwood modelinin eksik tarafı yüksek yoğunluktaki sıfır hızı temsil edememesidir [26].

**Çizelge 2.1.** Hız-yoğunluk modellerinin özeti [19]

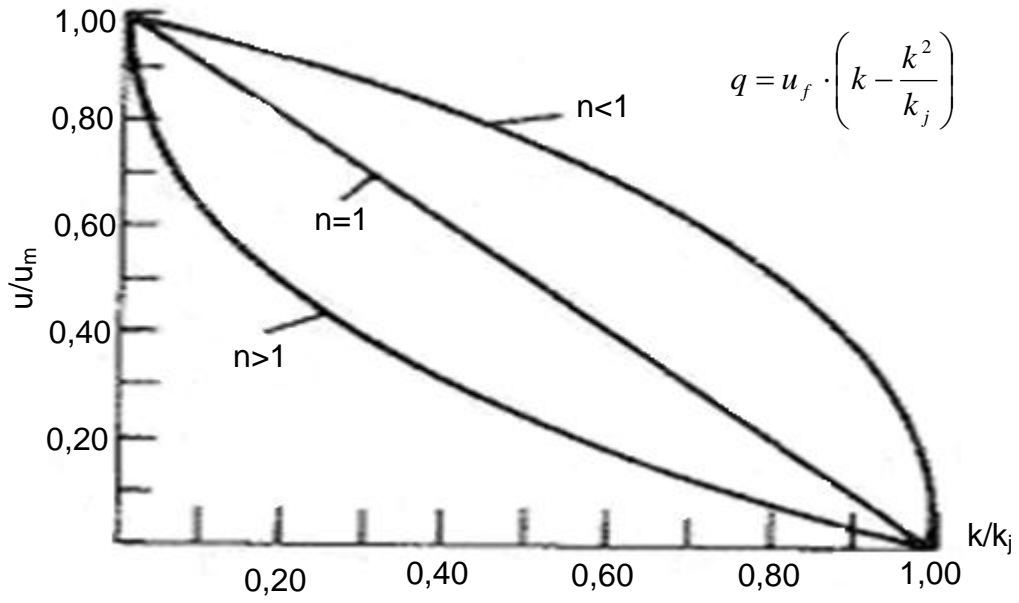
| Model                 | Hız-akım denklemi                                | Basit lineer denklem                             |
|-----------------------|--|--|
| Lineer(Greenshields)  | $u = u_f - \left(\frac{u_f}{k_j}\right) \cdot k$ | $u = u_f - \left(\frac{u_f}{k_j}\right) \cdot k$ |
| Üstel(Underwood)      | $u = u_f \cdot e^{-\left(\frac{k}{k_m}\right)}$  | $\ln(u) = \ln(u_f) - \frac{k}{k_m}$              |
| Logaritmik(Greenberg) | $u = u_m \cdot \ln\left(\frac{k_j}{k}\right)$    | $u = u_m \cdot \ln(k_j) - u_m \cdot \ln(k)$      |

Not: Yukarıdaki çizelgede u=hız; u<sub>f</sub>=serbest akım şartlarında hız; u<sub>m</sub>=kritik hız; k=yoğunluk; k<sub>m</sub>=kritik yoğunluk; k<sub>j</sub>=tıkanıklık yoğunluğu olarak ifade edilmektedir [19].

Genelleştirilmiş Tekli-Rejim Modelleri: Pipes ve Munjal model formu olarak aşağıdaki ifadeyi önermiştir.

$$u = u_f \cdot \left(1 - \frac{k}{k_j}\right)^n \quad (2.12)$$

Burada “n” 1 den büyük gerçek bir sayıdır (n>1). Ancak n=1 olduğunda denklemdeki ilişki azalmaktadır [26].



**Şekil 2.9.** Munjal ve Pipes hız-yoğunluk ilişkisi grafik gösterimi [25]

Drew, modelinde hız-yoğunluk arasındaki ilişki için ( $n > -1$ ) aşağıdaki formülü önermiştir [26].

$$u = u_f \cdot \left[ 1 - \left( \frac{k}{k_j} \right)^{\frac{(n+1)}{2}} \right] \quad (2.13)$$

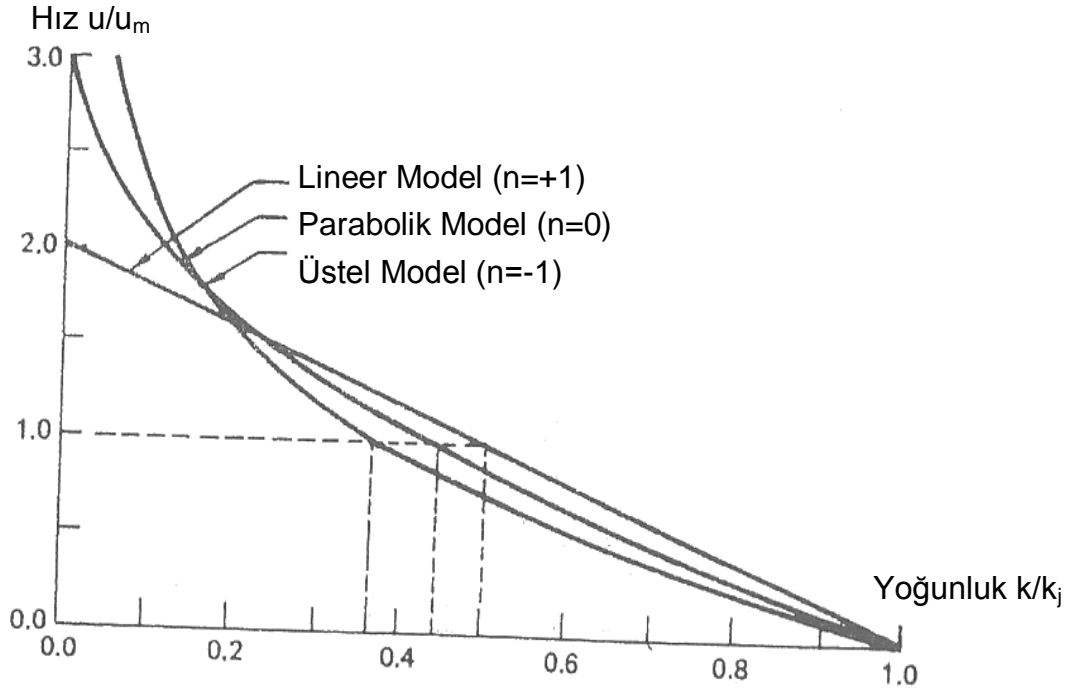
Aynı şekilde  $n=1$  olduğunda denklemdeki ilişki azalır.  $n=0$  olduğunda ise hız-yoğunluk ilişkisi parabolik modele uygun olur [26].

Parabolik model denklemi denklem 2.14 'de belirtilmektedir [26].

$$u = u_f \cdot \left[ 1 - \left( \frac{k}{k_j} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (2.14)$$

Aşağıdaki denklemde üç “n” değerinin sonuçları şekil 2.10.’da gösterilmiştir [25].

$$\frac{d_u}{d_k} = u_m \cdot k^{(n-1)/2} \quad (2.15)$$



**Şekil 2.10.** Drew modelinin hız-yoğunluk ilişkisi grafik gösterimi [25]

Bell-Shaped (çan) eğrisi modelinde, hız ve akım verilerine bağlı olarak yoğunluk değeri tahmin edilir. Model sıkışık olmayan trafik koşulları için iyi sonuçlar vermektedir [20].

Drake hız-yoğunluk için çan şeklinde veya normal eğri kullanılmasını önermektedir [25].

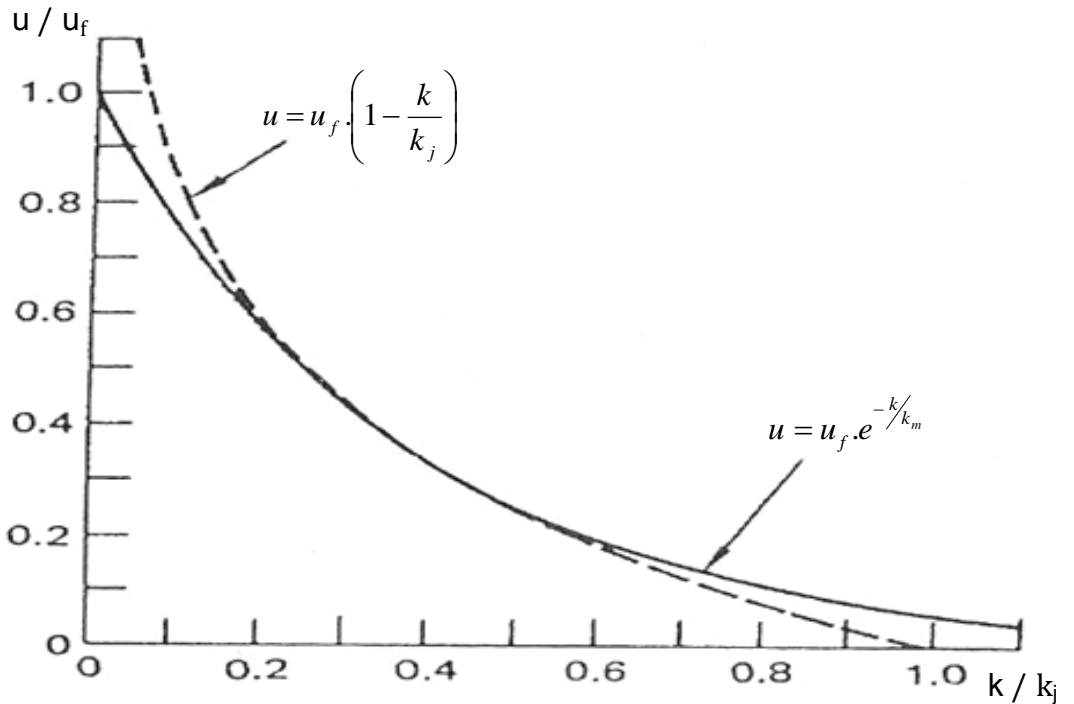
Drake'nin geliştirdi model ise denklem 2.16 'da verilmektedir [21].

$$u = u_f \cdot e^{[-1/2 \cdot (k/k_m)^2]} \quad (2.16)$$

Multirejime modelleri; yukarıda bahsedildiği gibi Greenberg modelleri yüksek yoğunluk için kullanışlı olup düşük yoğunluk için kullanışsızdır. Underwood modeli düşük yoğunluk için kullanışlıdır fakat yüksek yoğunluk için kullanışsızdır [20].

Heydecker ve Addison'nun yapmış oldukları çalışmada belirtildiği gibi Edie (1961) yüksek yoğunluklu trafik için geliştirilen Greenberg modeline ve düşük yoğunluklu trafik için geliştirilen Underwood modeline uyan bir hız-yoğunluk modeli geliştirmiştir [18]. Buna göre Öğüt'ün çalışmasında da bahsedildiği üzere Edie ve Underwood tıkanık ve tıkanık olmayan akım ayrımını yaparak bir hız-yoğunluk modeli ortaya koymuşlardır [22].

Edie modelinde 2.10 ve 2.11 denklemlerinin bileşiminden bir model geliştirmiştir. Bu modelde yoğunluğun düşük değerlerinde 2.11 eşitliğini, yoğunluğun yüksek değerlerinde ise 2.10 eşitliğini kullanmıştır [25].

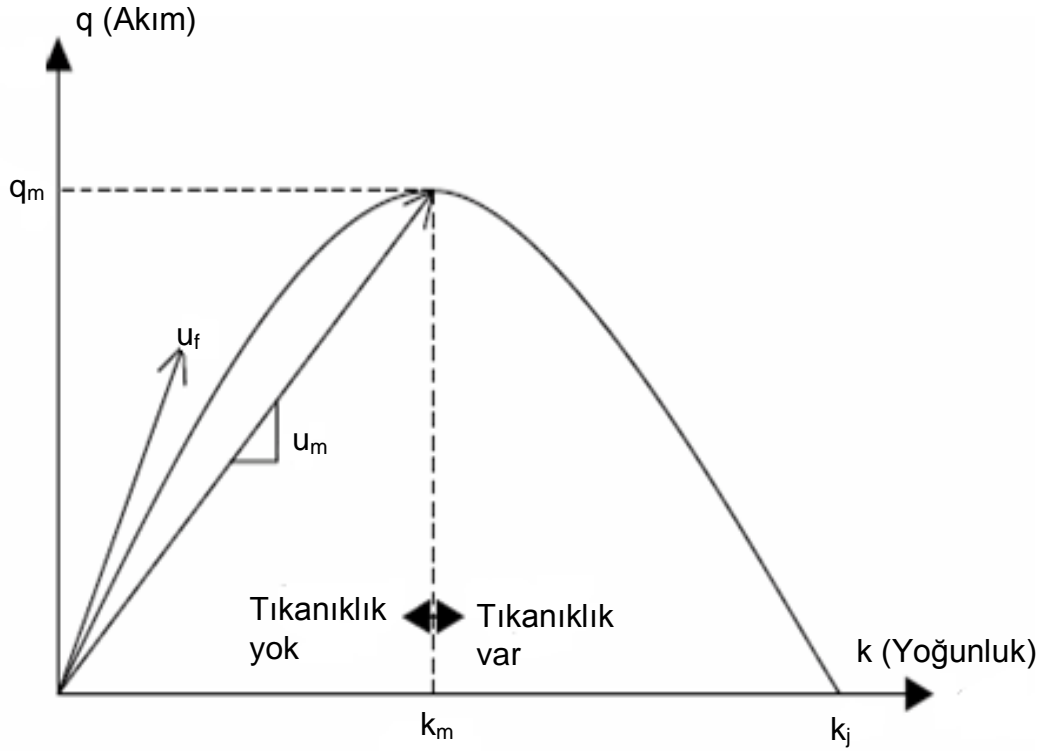


**Şekil 2.11.** Standart hız ve yoğunluk için iki denklemin grafik gösterimi [25]



### 2.3.2. Akım–Yoğunluk İlişkisi

Şekil 2.12. 'de görüldüğü gibi yol sunulan kapasiteye erişinceye kadar akım ve yoğunluk birlikte artmaktadır. Ancak kapasiteden sonra yoğunluk artmaya devam etmekte, akım azalmaktadır. Bu durum araçların tampon tampona geldiği, yoğunluğun en büyük değerini aldığı ( $k_j$ -tıkanma yoğunluğu) tıkanma oluşana kadar devam eder. Grafikte herhangi bir noktayı orijinle birleştiren doğrunun eğimi, ortalama hızı verir (Örneğin;  $q_m/k_m=u_m$ ). Şekil 2.12. 'de başlangıç noktasındaki teğetin eğimi ( $u_f$ ) de "serbest hızı" vermektedir [9]. Yoğunluğun veya hızın sıfıra yakın olduğu durumda akım da sıfıra yakın bir değer almaktadır.



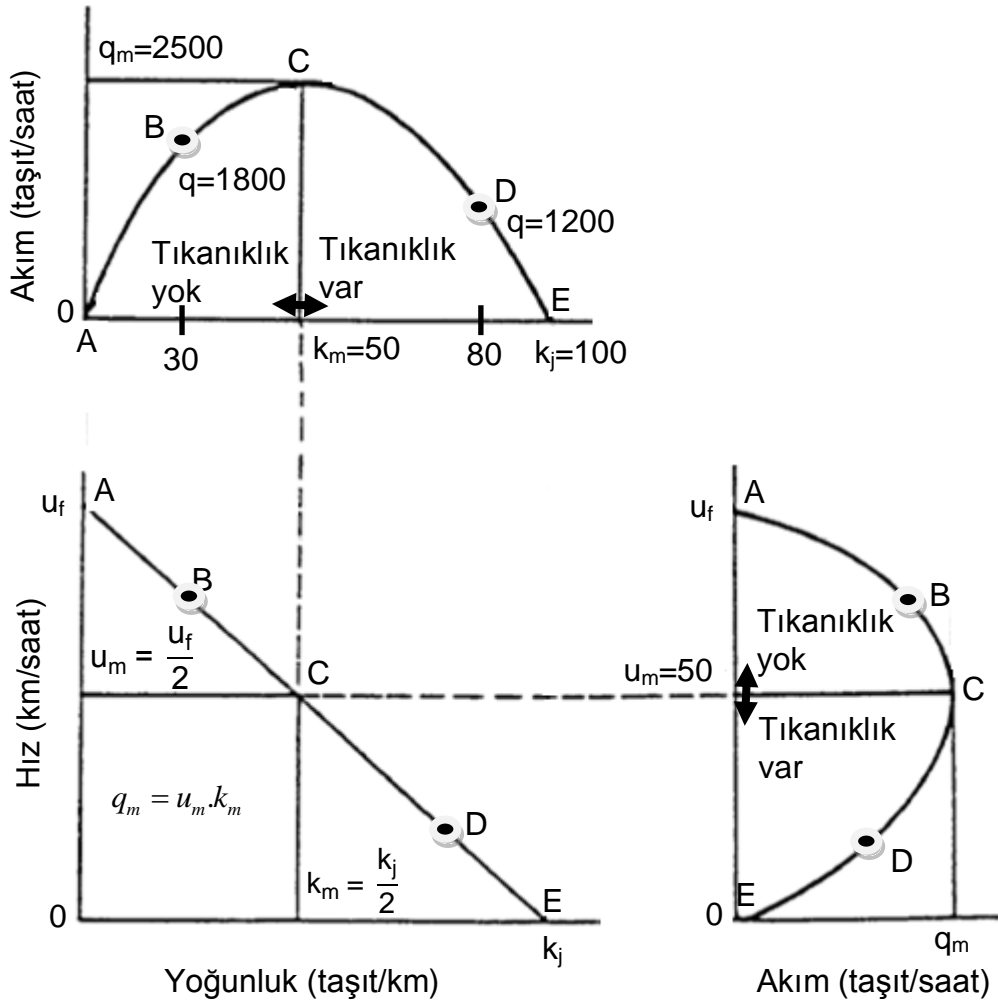
Şekil 2.12. Akım–yoğunluk ilişkisi [26]

Yoğunluğun sıfır olduğu yer ile tıkanma yoğunluğu arasında pek çok gözlemlenebilir akım olduğundan, pek çok da maksimum akım noktası olmalıdır. Bazı araştırmacılar tek bir maksimum noktadan geçen eğri

önerirken, bazıları da bir tanesi kararlı, bir tanesi de kararsız dağınık noktalardan geçen süresiz eğriler önermektedir. Bu durumda her bir eğri için 2 adet maksimum noktası oluşmaktadır ve bütün modeller göstermektedir ki, kararlı akım eğrisindeki maksimum akım, kararsız akım eğrisindeki maksimum akımdan kayda değer biçimde büyüktür [9].

Hız-akım-yoğunluk arasındaki ilişkilerin gösterilmesi amacıyla aşağıda basit bir örnek verilmiştir.

Örnek :



Şekil 2.13. Lineer model için hız-akım-yoğunluk ilişkileri örneği [26]

Şekildeki sayısal değerler arazi gözlemlerinden beklenebilir bir durum içindir. Karayolunda bekleyen araç olmadığı zaman şekil 2.13.'den açık olarak görüldüğü üzere akım sıfırdır( $q=0$ ) ve bu "A" noktası için geçerlidir. Diyagramlar maksimum yoğunluğun bir noktasına sahiptir ve bu nokta "E" noktasıdır. Eğrilerin optimum noktası ise "C" noktasıdır. "B" ve "D" keyfi noktaları ise sıkışık olmayan ve sıkışık olan koşullardaki noktalardır.

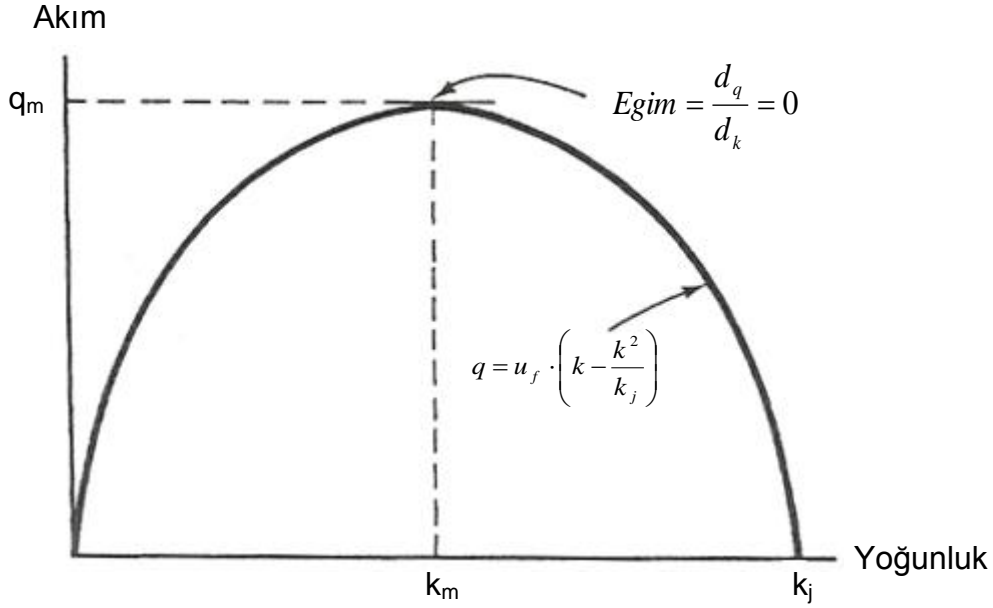
Maksimum akım oranı  $q_m=2500$  araç/saat ve sıkışıklık yoğunluğu  $k_j=100$  araç/km'dir. Yoğunluk  $k_m$ ,  $q_m$  'e göre diyagramdan okunur ve 50 araç/km 'dir. Hız  $u_m$  maksimum akımda orjin A noktasından C noktasına çizilen doğrunun eğimidir ve  $u_c=u_m=2500/50=50$  km/saat 'dir. B noktasında akım  $q=1800$  araç/saat , yoğunluk  $k=30$  araç/km ise hız  $u=1800/30=60$  km/saat olur. Varsayalım ki D noktasında akım=1200 araç/saat, yoğunluk 80 araç/km olsun bu durumda hız  $u=1200/80=15$  araç/km olarak hesaplanabilir.

### 2.3.3. Akım–Yoğunluk Modelleri

**2.3.3.1. Parabolik Model:** Parabolik akım-yoğunluk modeli doğrudan Greenshields hız-yoğunluk modelini takip eder. 2.5 denkleminde  $u$  yerine eşitlik 2.6 yazılırsa denklem aşağıdaki şekilde olur [26].

$$q = u \cdot k = u_f \cdot \left( k - \frac{k^2}{k_j} \right) \quad (2.17)$$

Bu durum grafik olarak aşağıdaki şekilde gösterilmiştir [26].



**Şekil 2.14.** Parabolik model için akım-yoğunluk ilişkisi [26]

2.17 denkleminde eğimin sıfır olduğu maksimum akım koşulları için  $q$  (parabolik fonksiyon) incelendiğinde eşitlik aşağıdaki gibi olur [26].

$$\frac{d_q}{d_k} = u_f \cdot \left(1 - \frac{2k_m}{k_j}\right) = 0 \quad (2.18)$$

Yukarıdaki denklemde  $u_f \neq 0$  olduğundan  $1 - \frac{2k_m}{k_j} = 0$  olur ve buna göre bulunan optimum yoğunluk aşağıdaki eşitlikte gösterilmektedir [26].

$$k_m = \frac{k_j}{2} \quad (2.19)$$

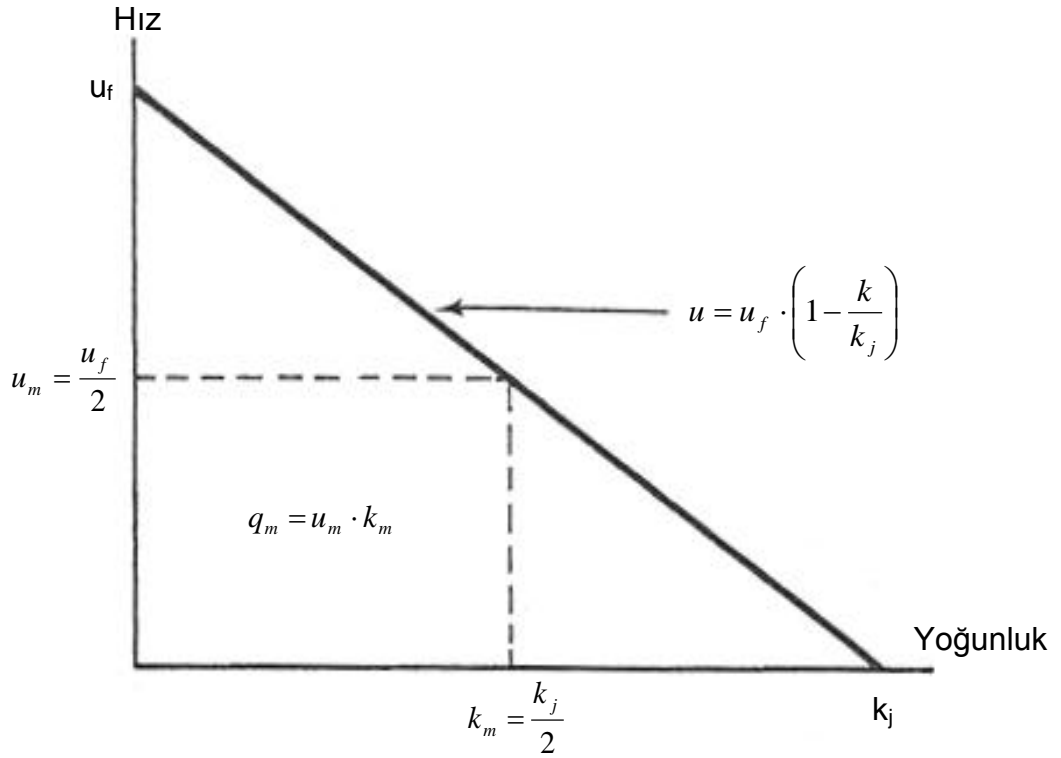
2.6 denkleminde optimum durum için,  $u = u_m$  ve denklem 2.19 kullanılarak optimum hız denklemi bulunur [26].

$$u_m = u_f \cdot \left(1 - \frac{k_j}{2k_j}\right) = \frac{u_f}{2} \quad (2.20)$$

Bu durumda maksimum akım denklemi denklem 2.21 'de belirtilen şekildedir [26].

$$q_m = u_m \cdot k_m = \frac{u_f \cdot k_j}{4} \quad (2.21)$$

Yukarıdaki denklemlerden maksimum akımın bir dikdörtgenin alanına eşit olduğu sonucu ortaya çıkar ve bu durum şekil 2.15 'de gösterilmektedir [26].



**Şekil 2.15.** Hız–yoğunluk ilişkisi [26]

**2.3.3.2. Logaritmik Model:** Logaritmik yoğunluk-akım modeli Greenberg hız-yoğunluk modelini takip eder [26]. 2.5 denkleminde  $u$  yerine 2.10 denklemi yazılır ise eşitlik;

$$q = u \cdot k = k \cdot u_m \cdot \ln\left(\frac{k_j}{k}\right) \quad (2.22)$$

olur. Maksimum akım koşulları için yoğunluk ve akım,

$$k_m = \frac{k_j}{e} \quad (2.23)$$

$$q_m = u_m \cdot \frac{k_j}{e} \quad (2.24)$$

şeklinde ifade edilir. Görüldüğü gibi burada  $u_m$  belirleyici parametredir [26]. Underwood logaritmik modeli için 2.11 denklemi 2.5 denkleminde kullanılarak aşağıdaki eşitlik bulunur [26].

$$q = k \cdot u_f \cdot e^{-k/k_m} \quad (2.25)$$

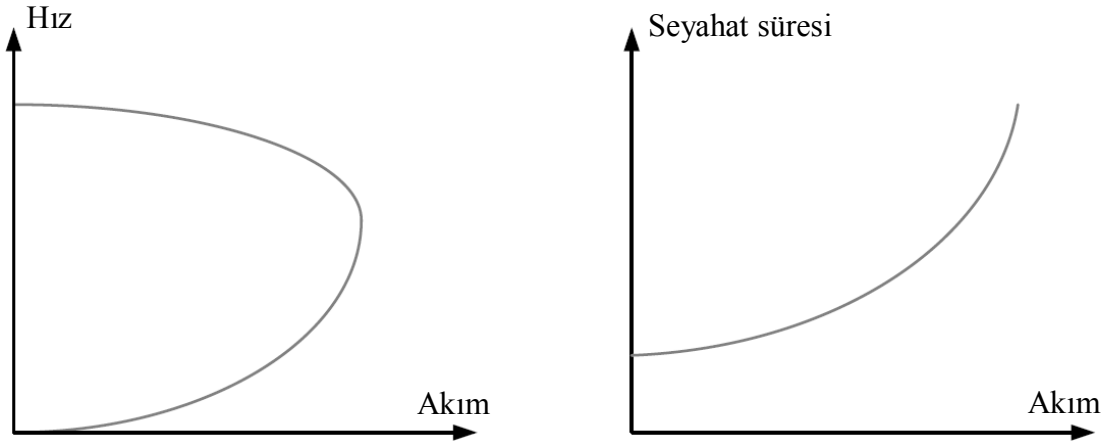
Sınır şartların analizi ile hız ve akım,

$$u_m = \frac{u_f}{e} \quad (2.26)$$

$$q_m = k_m \cdot \frac{u_f}{e} \quad (2.27)$$

şeklinde ifade edilir. Burada ise  $k_m$  belirleyici parametredir [26].

### 2.3.4. Hız–Akım Modelleri



**Şekil 2.16.** Tipik hız–akım ve seyahat süresi-akım ilişkisi [23]

Bir kere hız-yoğunluk modeli tespit edildikten sonra buradan hız-akım modeli tespit edilebilir. Yoğunluğun sifıra yaklaştığı yerdeki serbest akım hızı  $u_f$  elde edilebilir maksimum hızdır [26].

Şekil 2.15.'deki ikinci önemli nokta ise sıfır hızın karşılığının maksimum yoğunluktur ( $k_j$ ). Sıfır ve maksimum hızlar arasında, diyagram maksimum doğru döngü akımının bazı tiplerini oluşturur [26].

Hız-akım eğrisi ve Greenshield modeli ile ilişkili 2.6 denkleminde aşağıdaki denklemler geliştirilmiştir [26].

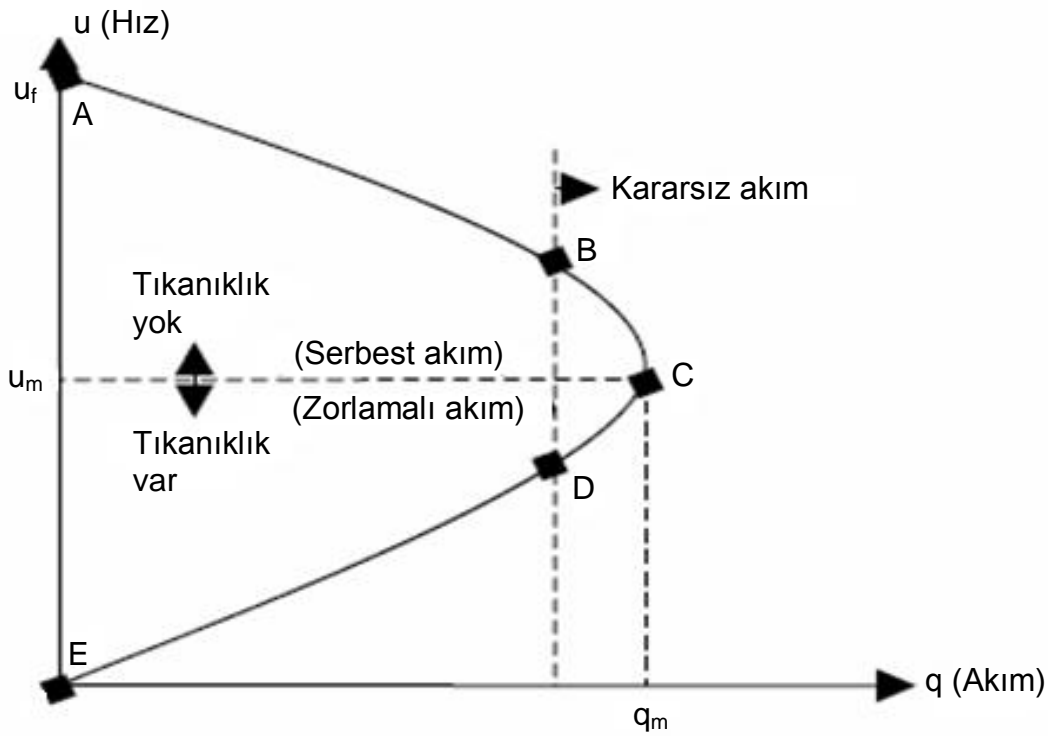
$$u - u_f = u_f \cdot \left( -\frac{k}{k_j} \right) \quad (2.28)$$

$$k = k_j \cdot \left( 1 - \frac{u}{u_f} \right) \quad (2.29)$$

2.29 eşitliği 2.5 denkleminde yerine yazılır ise aşağıdaki denklem bulunur [26].

$$q = u \cdot k = u \cdot k_j \cdot \left(1 - \frac{u}{u_f}\right) = k_j \cdot \left(u - \frac{u^2}{u_f}\right) \quad (2.30)$$

Elde edilen bu denklem aşağıda verilen parabolik hız-akım eğrisi ile gösterilir [9].

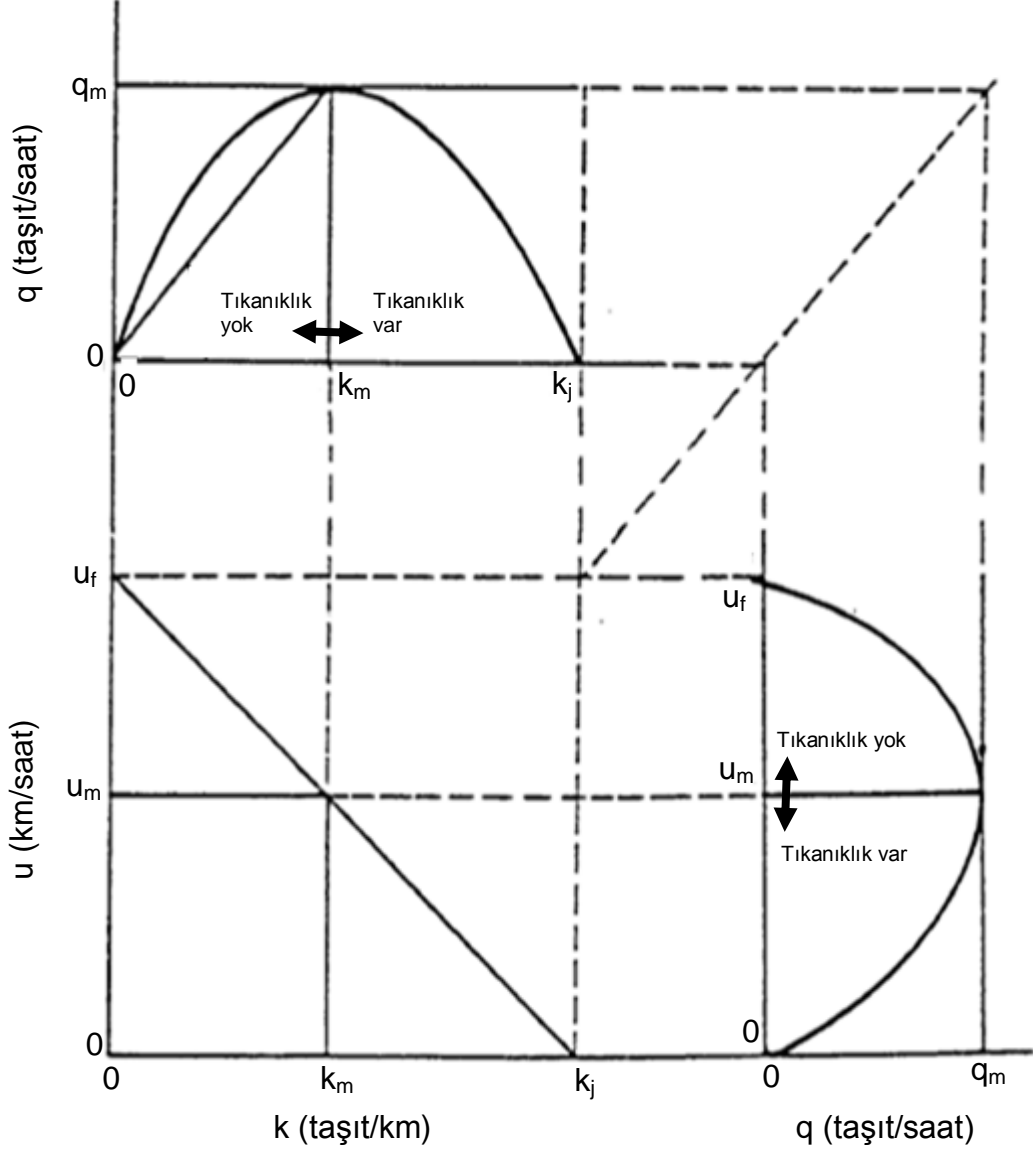


**Şekil 2.17.** Hız-akım ilişkisi [9]

Şekil 2.17.' de görüldüğü gibi tıkanıklığın olmadığı serbest akım bölgesinde akım arttıkça hız düşmektedir. Bu durum kapasiteye ( $q_m$ ) erişinceye kadar devam eder. Kapasite aşıldıktan sonra hem akım hem de hız birlikte düşüşe geçerler. Kapasitenin hemen altında ve üstündeki bölgede trafik akımı kararsızlaşmakta, akımın AB bölgesinde “serbest”, DE bölgesinde “zorlamalı” olarak aktığı bilinmektedir [9].



Trafik akım-yoğunluk, hız-yoğunluk ve hız-akım arasındaki ilişkiler ile Lineer Modelin temel bağıntıları şekil 2.18'de sunulmaktadır.



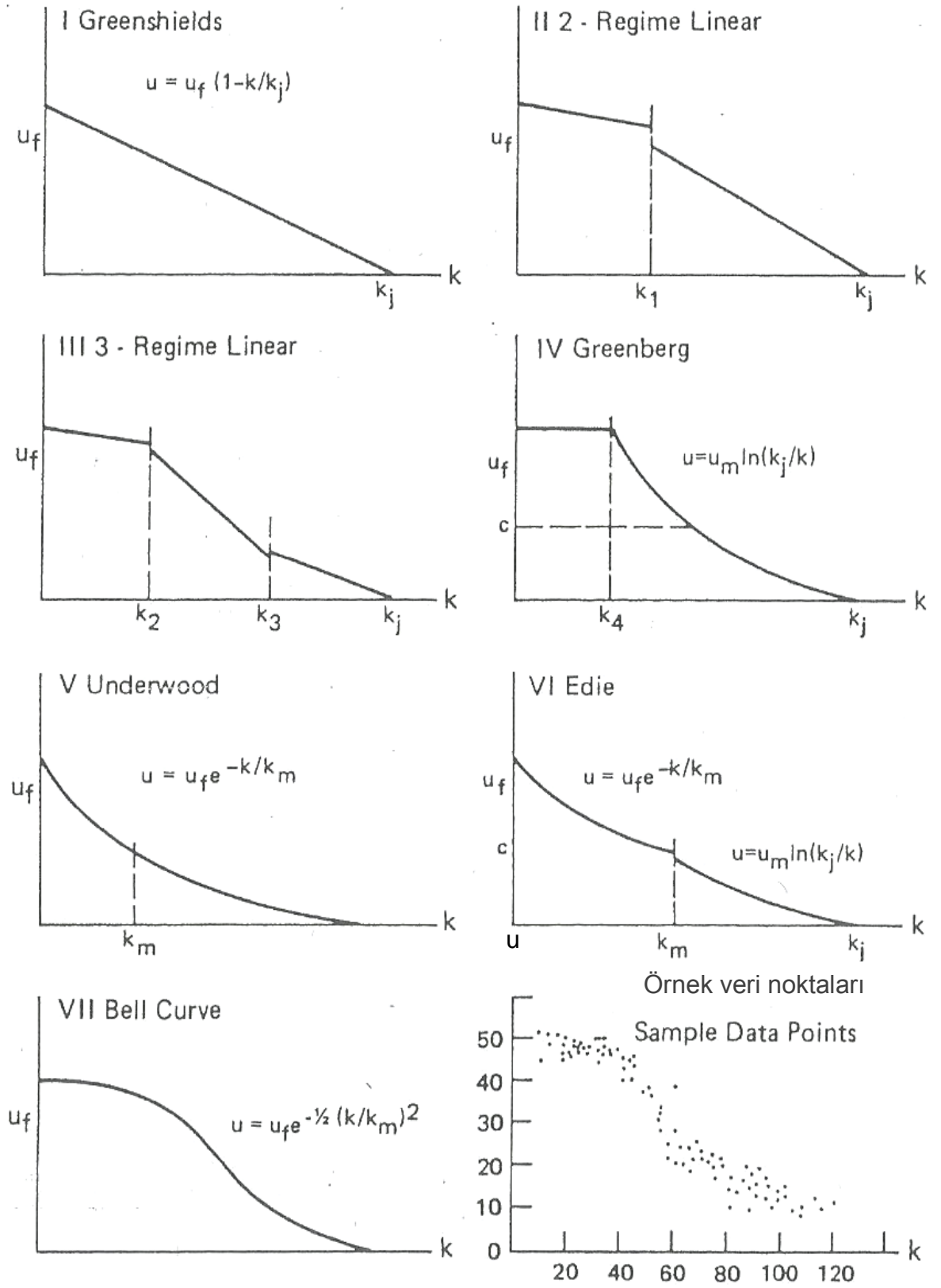
**Şekil 2.18.** Hız, akım ve yoğunluk ilişkileri ile temel bağıntıları [10]

Şekil 2.18.'da akım-hız, akım-yoğunluk ve hız-yoğunluk arasındaki ilişkilerin genel formu gösterilmektedir. Burada hız ve yoğunluk arasındaki ilişki incelendiğinde araç sayısı arttığından dolayı yoğunluk artacak bu ise hızda azalmaya neden olacaktır [27]. Yoğunluk sıfır olduğu zaman akım sıfıra yakın

bir değer almaktadır [28]. Yoęunluk sıkışık yoğunluğa yaklaşırken araçlar tampon tampona hareket edeceğinden dolayı hız dūřmekte ve araç yoğunluğu sıkışık yoğunluğa ulaştığında hız sıfır değerine inmektedir.

Yoęunluk çok dūřük olduęunda tařıtlar dięer araçların varlıęından etkilenmedięinden dolayı hız en yūkssek deęerine( $u_f$ ) ulařır. Yoęunluk sıfırdan yūkseldike belirli bir noktaya ulařıncaya kadar akım artmaktadır. Belirli bir noktada hız, akım ve yoęunluk optimum deęerlere ulařmaktadır. Bu nokta ařıldıktan sonra yoęunluk artmaya, araçlar yavařlamaya bařlar ve akım giderek dūřer [27].

Hız-yoęunluk iliřkisi için literatūrde yer alan modellerin grafik gōsterimleri ۆzeti ile ۆrnek verilerin iřlendięi bir grafik řekil 2.19.'de sunulmaktadır.



Şekil 2.19. Hız–yoğunluk hipotezleri [25]

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde önceki bölümde anlatılan yöntemler değerlendirilerek geliştirilmiş olan modeller ve sonuçları verilecektir.

#### 3.1. Hesap Yöntemi ve Kabuller

İstanbul Büyükşehir Belediyesinden temin edilen verilere göre çalışmada kullanılan hesap yöntemi ile yoğunluk (k) değerinin hesabı için yapılan kabuller aşağıdaki gibidir.

Bu çalışmada doğrusal kabulü yapılarak hız, akım, yoğunluk modelleri geliştirilirken literatürde yaygın olarak kullanılan Lineer (Greenshields) modelinden yararlanılmış ve esas denklem olarak denklem 2.5 kullanılmıştır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Müdürlüğü tarafından belirlenen kesimlerdeki sensörlerden alınan işgaliye değerleri kullanılarak yoğunluklar hesap edilmiştir. Bu hesaplama için denklem 3.2 'den yararlanılmıştır [29].

$$k = \frac{O_i \cdot 5280}{L_v + L_d} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1 'de; k: Yoğunluk, O<sub>i</sub>: İşgaliye, L<sub>v</sub>: Ortalama araç uzunluğu, L<sub>d</sub>: Ortalama sensör uzunluğu olarak ifade edilmektedir [29].

Yukarıdaki denklem için kullanılan kaynakta uzunluk ölçüleri için kullanılan birimler "feet ve mil" olarak verilmektedir. Bu tez çalışmasında ölçüler "metre ve kilometre" cinsinden kullanıldığından denklem 3.1 tekrar düzenlendiğinde yoğunluk denklemi aşağıdaki şekle dönüşmektedir.

$$k = \frac{O_i \cdot 10}{L_v + L_d} \quad (3.2)$$

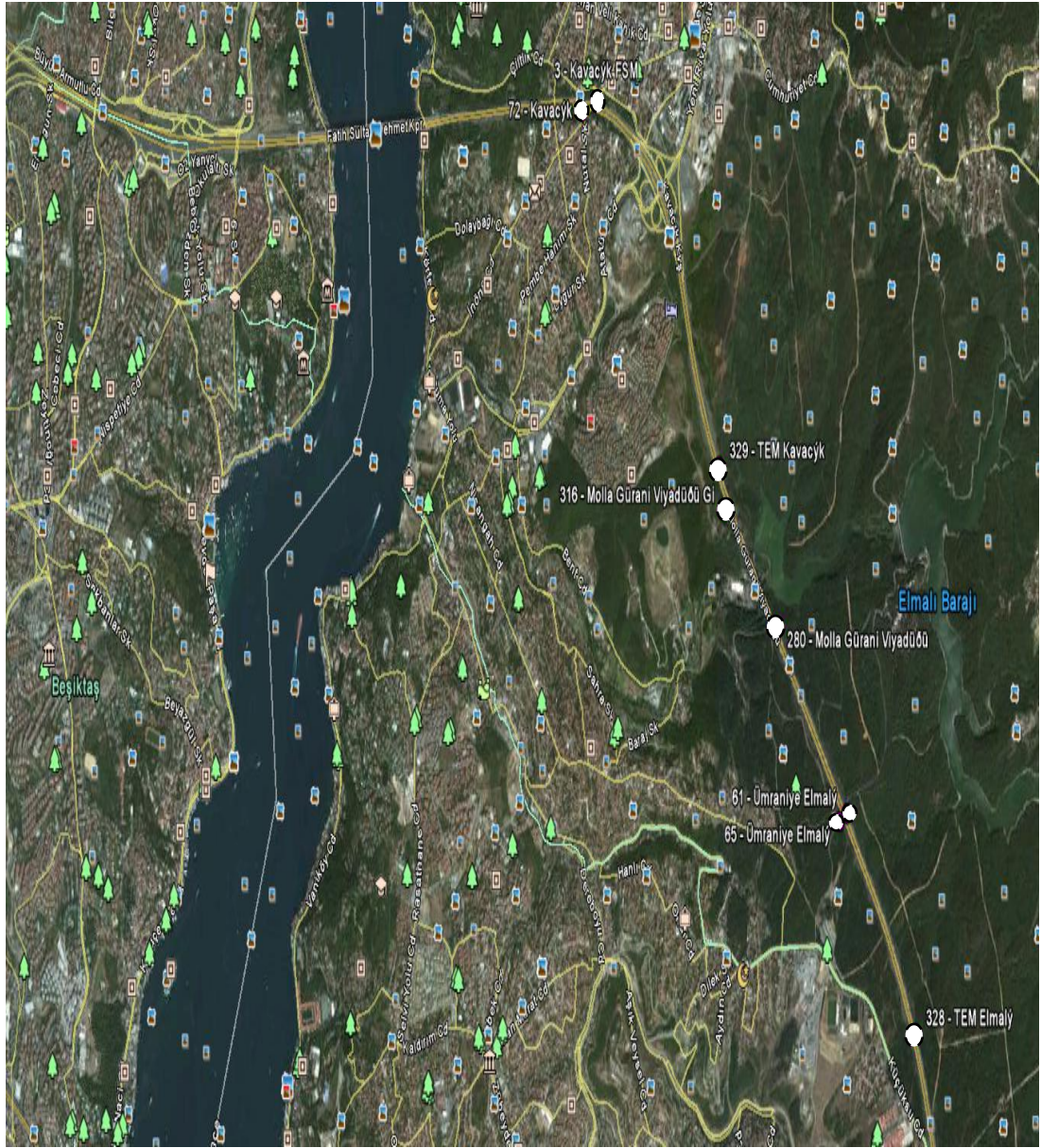
Hesaplamlarda, ortalama araç uzunluğu  $L_v = 5$  m ve ortalama sensör uzunluğu ise  $L_d = 1$  m olarak kabul edilmiştir. Verilerin toplandığı sensör yerleri şekil 3.1. ve şekil 3.2. 'de gösterilmektedir.

### 3.2. Sensör Yerlerini Gösteren Uydur Fotoğrafları



**Şekil 3.1.** O-1 Karayolunda Çağlayan-Mecidiyeköy arası sensör yerleri

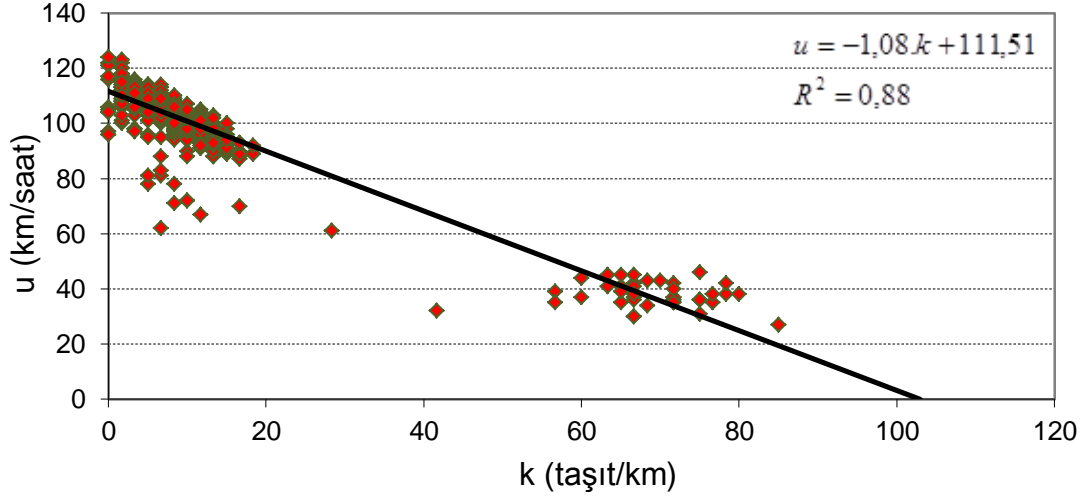




**Şekil 3.2.** O-2 Karayolunda Ümraniye-Kavacık arası sensör yerleri

### 3.3. Hava Durumunun Açık Olduğu Bir Günde (11 Temmuz 2011) Sensörlerden Alınan Veriler İçin Geliştirilen Modeller

#### 3.3.1. 85 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki İlişkiler



**Şekil 3.3.** 85 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği

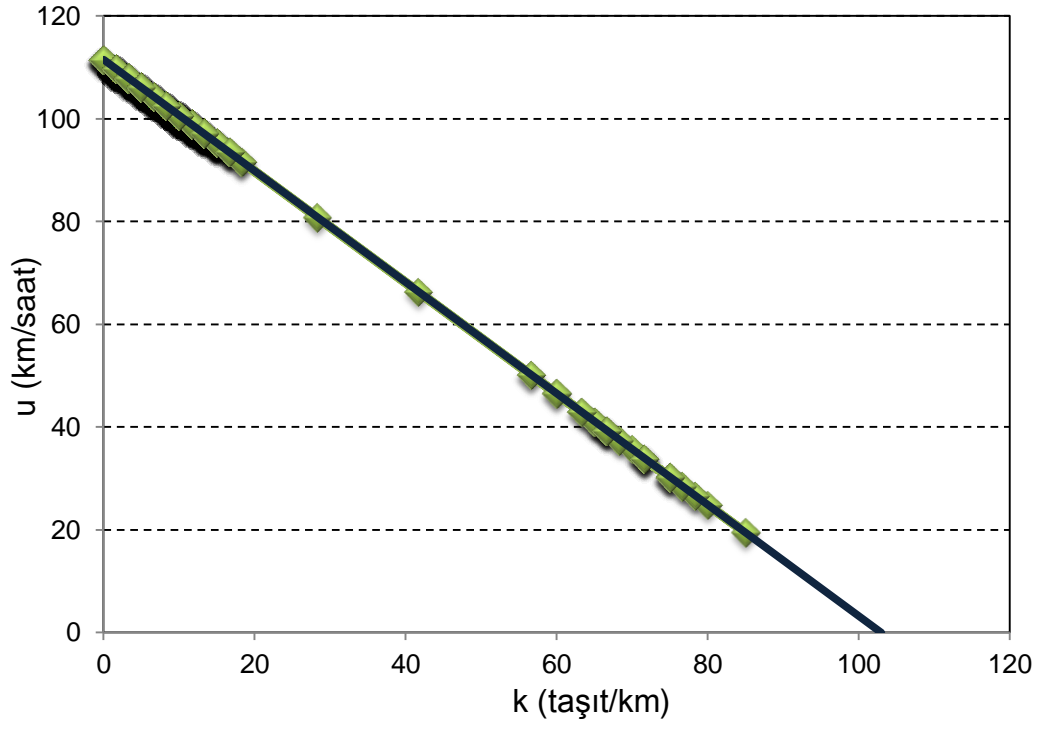
Havanın açık olduğu bir günde 85 numaralı sensörden elde edilen gerçek hız ve işgaliye verileri ile denklem 3.2 kullanılarak yoğunluklar hesap edilmiş daha sonra hız verileri ve denklem 2.5 yardımıyla trafik akım değerleri hesaplanmıştır. Yapılan doğrusal regresyon çözümlemesi ile aşağıda örneği belirtilen sonuçlar bulunmuş ve buna göre trafik hız, akım, yoğunluk ilişkileri için modeller geliştirilmiştir.

| <u>q</u> | <u>u</u> | <u>k</u> | <u>O<sub>i</sub></u> |
|----------|----------|----------|----------------------|
| 1153,42  | 98,87    | 11,67    | 7                    |
| 1006,71  | 100,67   | 10,00    | 6                    |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |

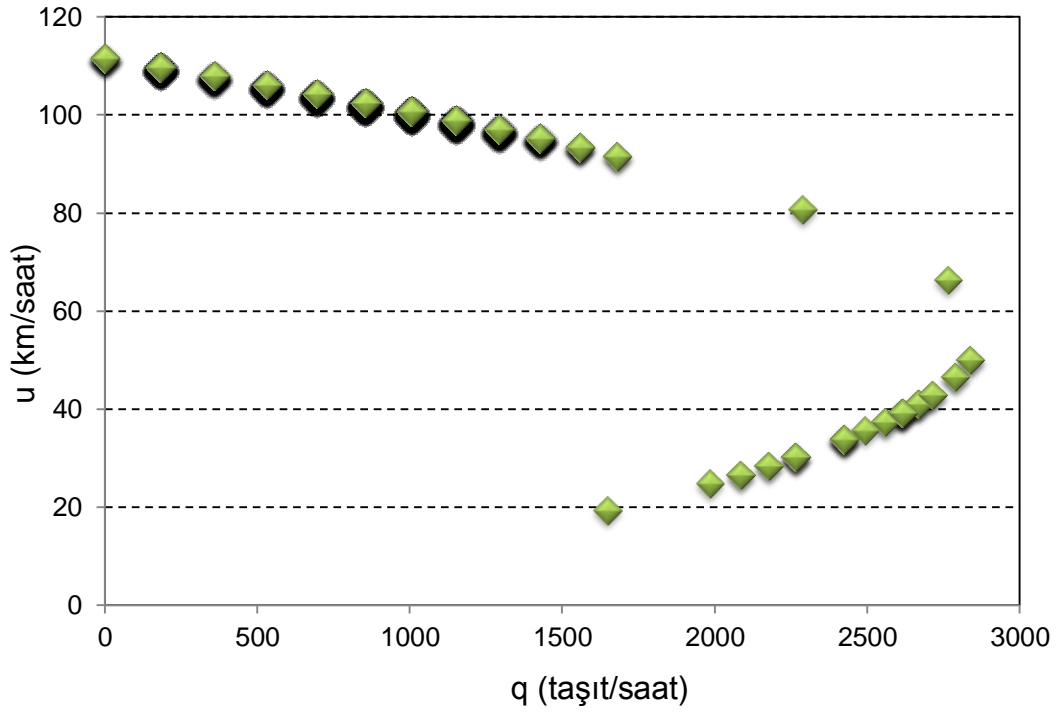
$$u = -1,08 \cdot k + 111,51 \quad (3.3)$$

$$q = -1,08 \cdot k^2 + 111,51 \cdot k \quad (3.4)$$

$$D = \left[ \frac{O_i \cdot 10}{(5+1)} \right] \quad (3.5)$$

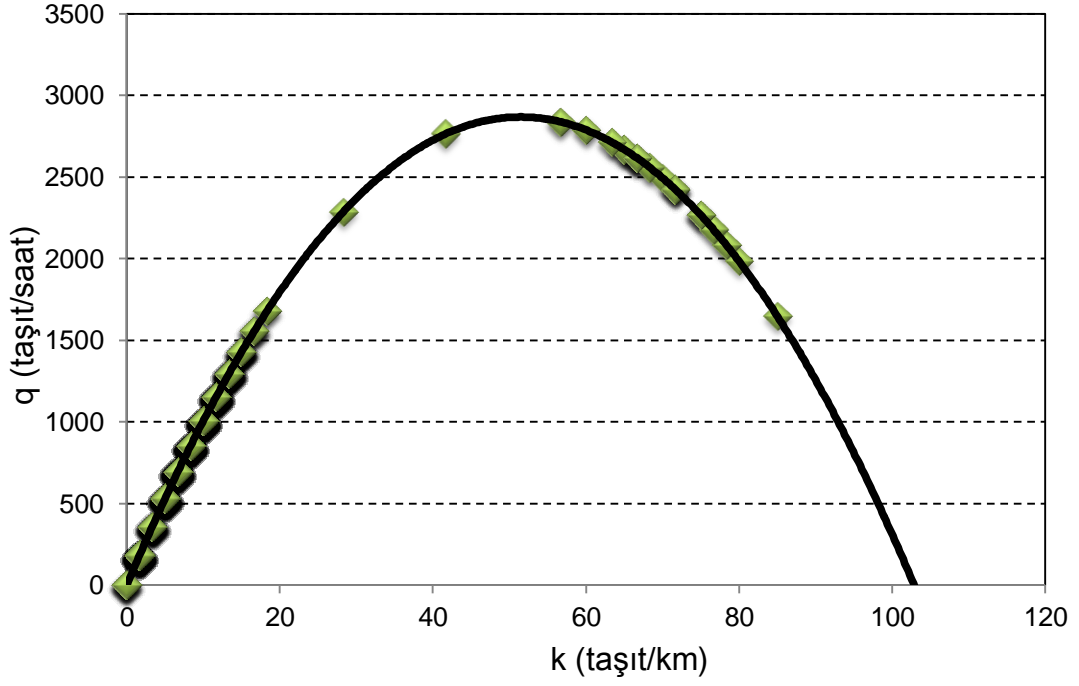


**Şekil 3.4.** 85 Numaralı sensör için u-k grafiği



**Şekil 3.5.** 85 Numaralı sensör için u-q grafiği





**Şekil 3.6.** 85 Numaralı sensör için q-k grafiği

Şekil 3.3. - 3.6.'dan elde edilen sonuçlara göre; doğrusal regresyon çözümlemesi sonucu hız ve yoğunluk değerleri için,

$$u = 111,51 - 1,08 \cdot k \quad (3.6)$$

denklemini elde edilmiştir. Akım-yoğunluk ve hız-akım bağıntıları ise sırasıyla,

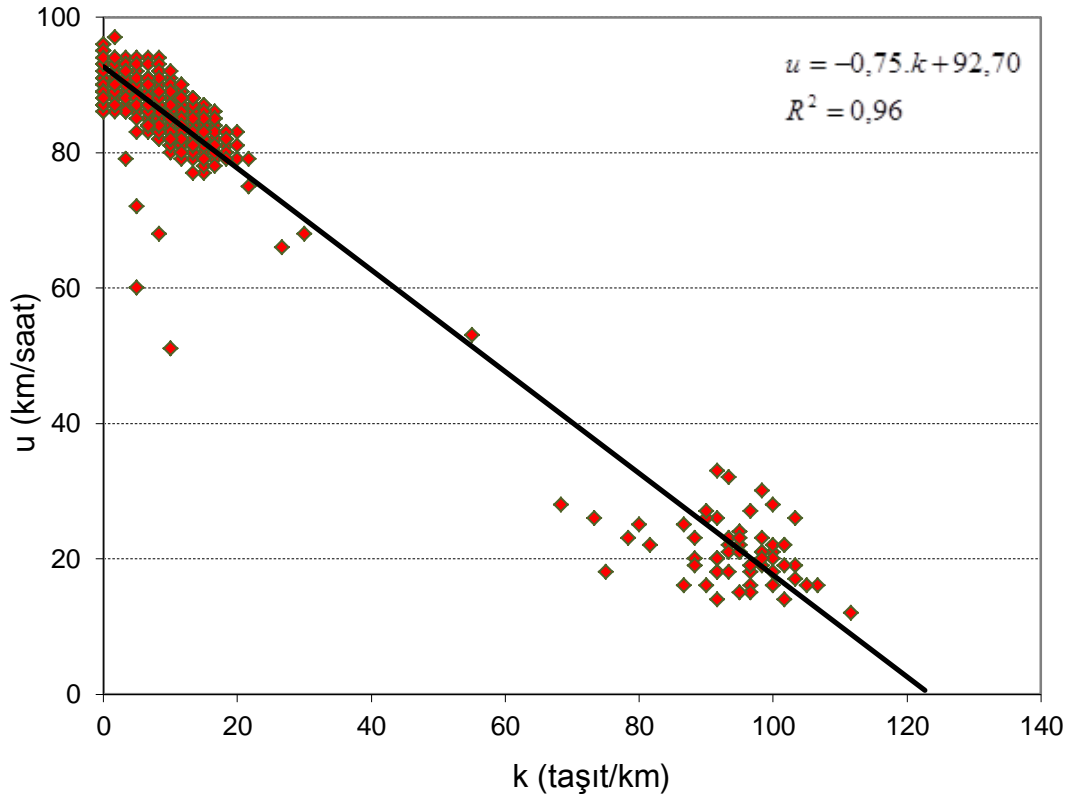
$$q = 111,51 \cdot k - 1,08 \cdot k^2 \quad (3.7)$$

$$q = \frac{111,51 \cdot u - u^2}{1,08} \quad (3.8)$$

olarak bulunmuştur.

Havanın açık olduğu bir günde toplanan verilere göre; optimum hız değeri ( $u_m=111,51/2$ ) 56 km/saat, optimum yoğunluk değeri ( $k_m=103/2$ ) ise 52 araç/km olarak elde edilmiş ve buna karşılık maksimum trafik akım değeri denklem 2.20. ile 2871 araç/saat bulunmuştur.

### 3.3.2. 300 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki İlişkiler

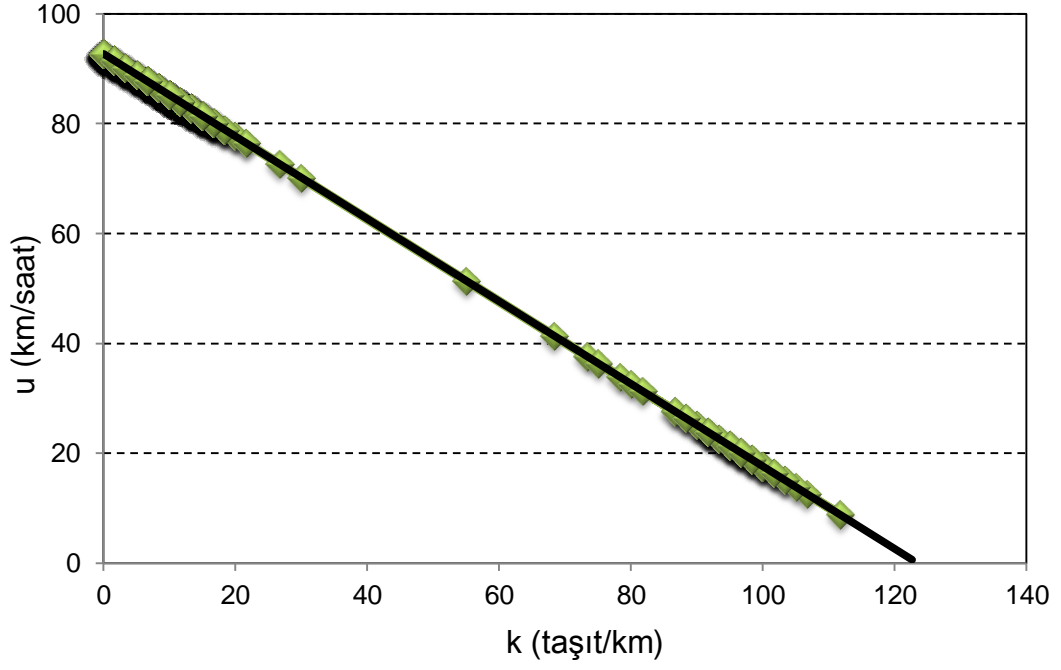


Şekil 3.7. 300 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği

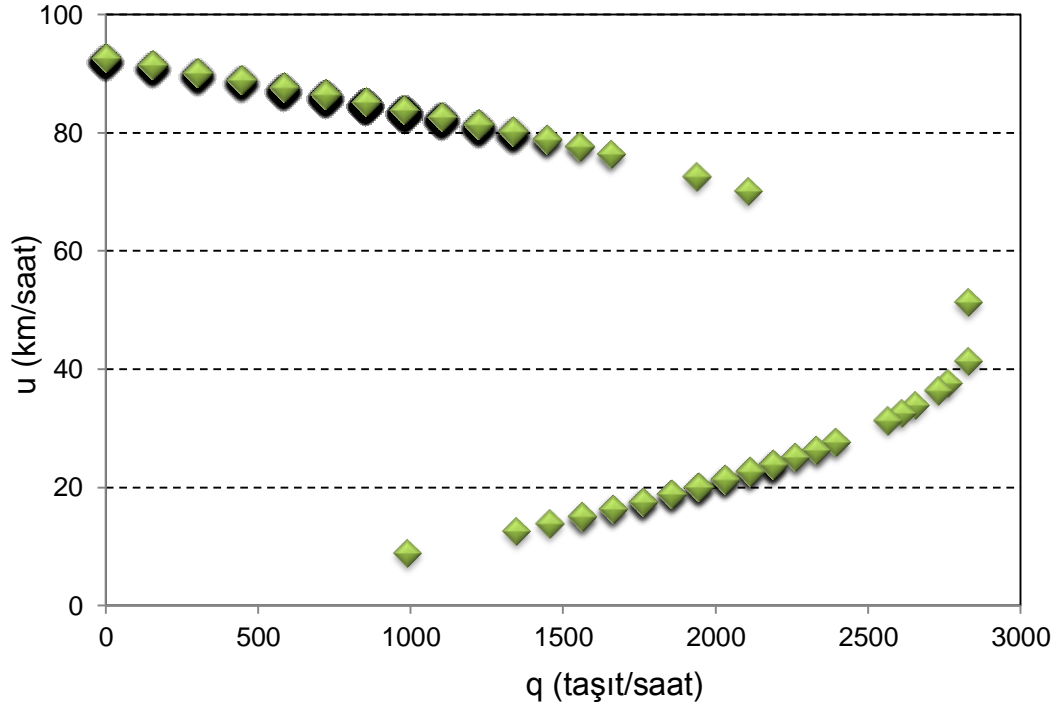
| <u>q</u> | <u>u</u> | <u>k</u> | <u>Q<sub>i</sub></u> |
|----------|----------|----------|----------------------|
| 1102,48  | 82,69    | 13,33    | 8                    |
| 851,89   | 85,19    | 10,00    | 6                    |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |

$$u = -0,75 \cdot k + 92,70 \quad (3.9)$$

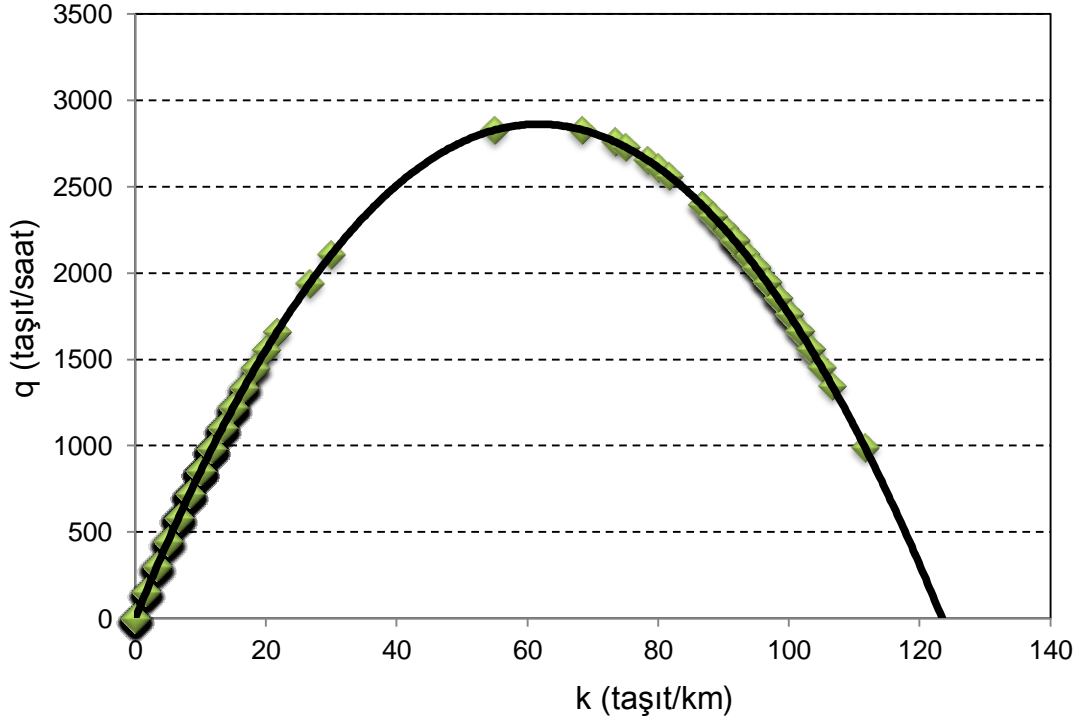
$$q = -0,75 \cdot k^2 + 92,70 \cdot k \quad (3.10)$$



**Şekil 3.8.** 300 Numaralı sensör için u-k grafiği



**Şekil 3.9.** 300 Numaralı sensör için u-q grafiği



**Şekil 3.10.** 300 Numaralı sensör için q-k grafiği

Şekil 3.7. - 3.10.'dan elde edilen sonuçlara göre; doğrusal regresyon çözümlemesi sonucu hız ve yoğunluk değerleri için,

$$u = 92,70 - 0,75 \cdot k \quad (3.12)$$

denklemini elde edilmiştir. Akım-yoğunluk ve hız-akım bağıntıları ise sırasıyla,

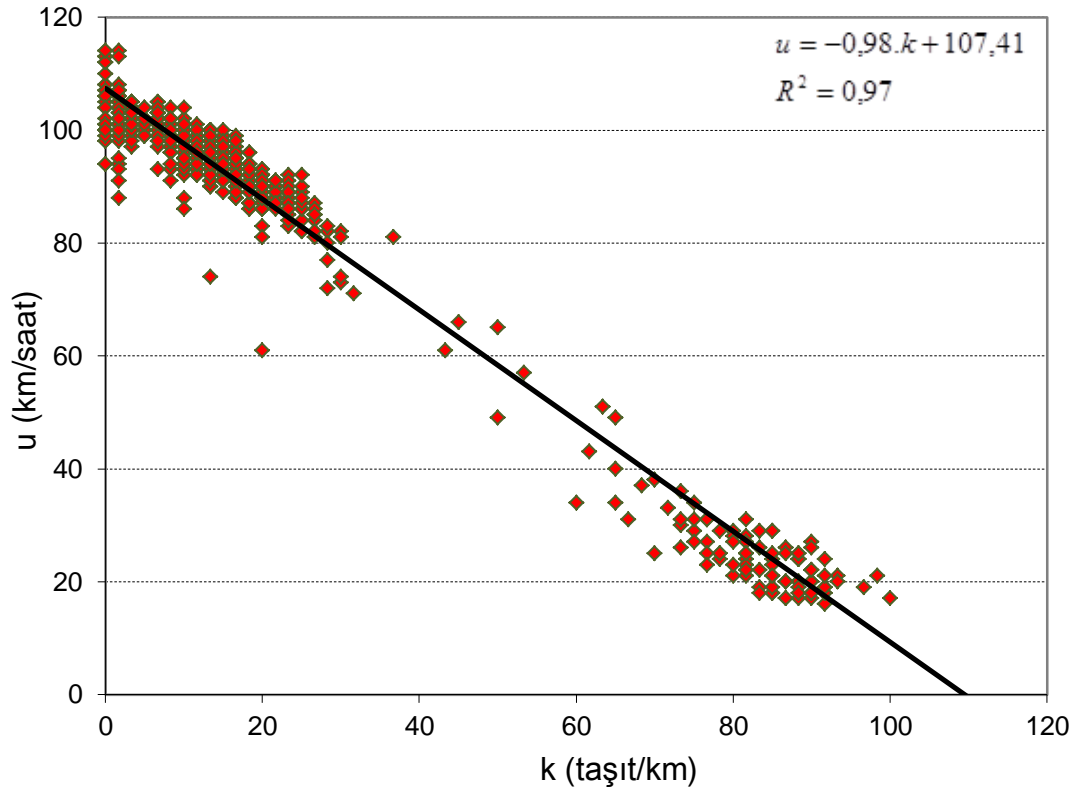
$$q = 92,70 \cdot k - 0,75 \cdot k^2 \quad (3.13)$$

$$q = \frac{92,70 \cdot u - u^2}{0,75} \quad (3.14)$$

olarak bulunmuştur.

Açık havanın olduğu bir günde 300 numaralı sensörden alınan verilere göre; optimum hız değeri 46 km/saat, optimum yoğunluk değeri 62 araç/km ve buna karşılık maksimum trafik akım değeri ise 2850 araç/saat olarak hesaplanmıştır.

### 3.3.3. 305 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki İlişkiler

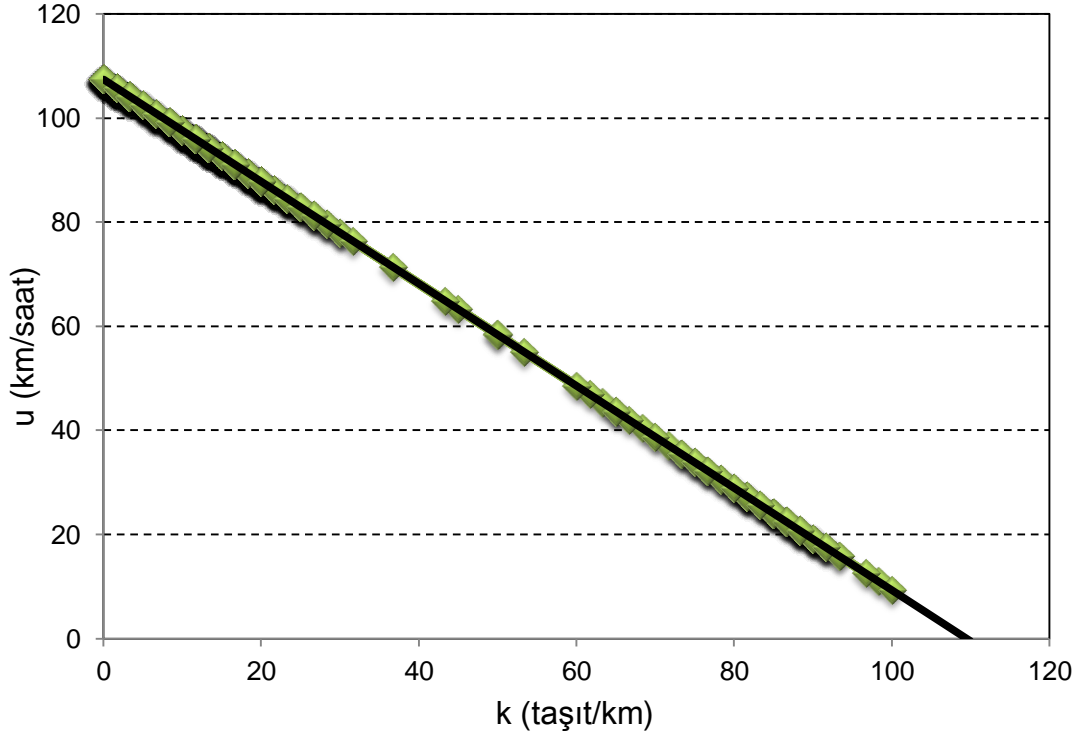


Şekil 3.11. 305 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği

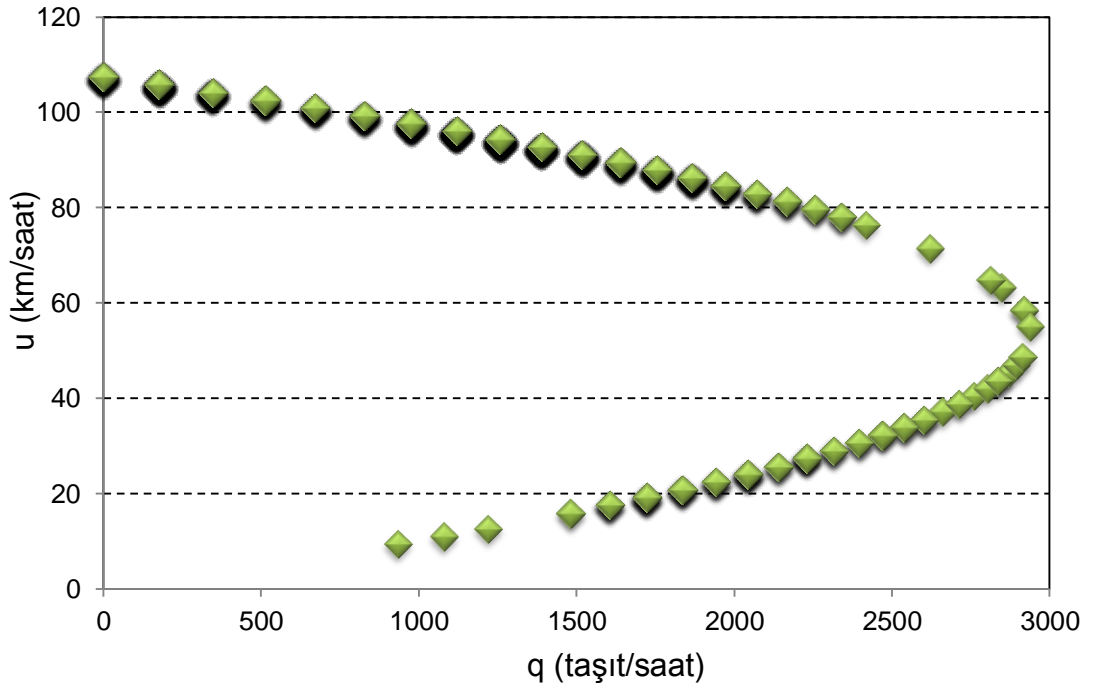
| <u>q</u> | <u>u</u> | <u>k</u> | <u>Q<sub>i</sub></u> |
|----------|----------|----------|----------------------|
| 1119,63  | 95,97    | 11,67    | 7                    |
| 1517,75  | 91,07    | 16,67    | 10                   |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |

$$u = -0,98 \cdot k + 107,41 \quad (3.15)$$

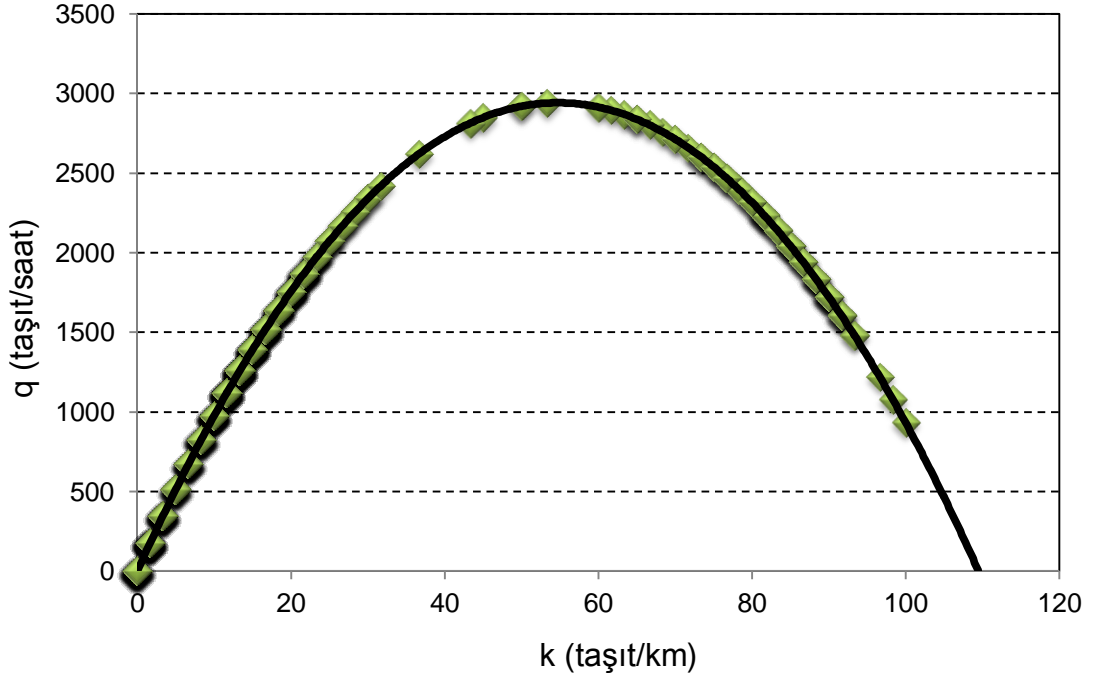
$$q = -0,98 \cdot k^2 + 107,41 \cdot k \quad (3.16)$$



**Şekil 3.12.** 305 Numaralı sensör için u-k grafiği



**Şekil 3.13.** 305 Numaralı sensör için u-q grafiği



**Şekil 3.14.** 305 Numaralı sensör için q-k grafiği

Şekil 3.11. - 3.14.'den elde edilen sonuçlara göre; doğrusal regresyon çözümlenmesi sonucu hız ve yoğunluk değerleri için,

$$u = 107,41 - 0,98 \cdot k \quad (3.18)$$

denklemini elde edilmiştir. Akım-yoğunluk ve hız-akım bağıntıları ise sırasıyla,

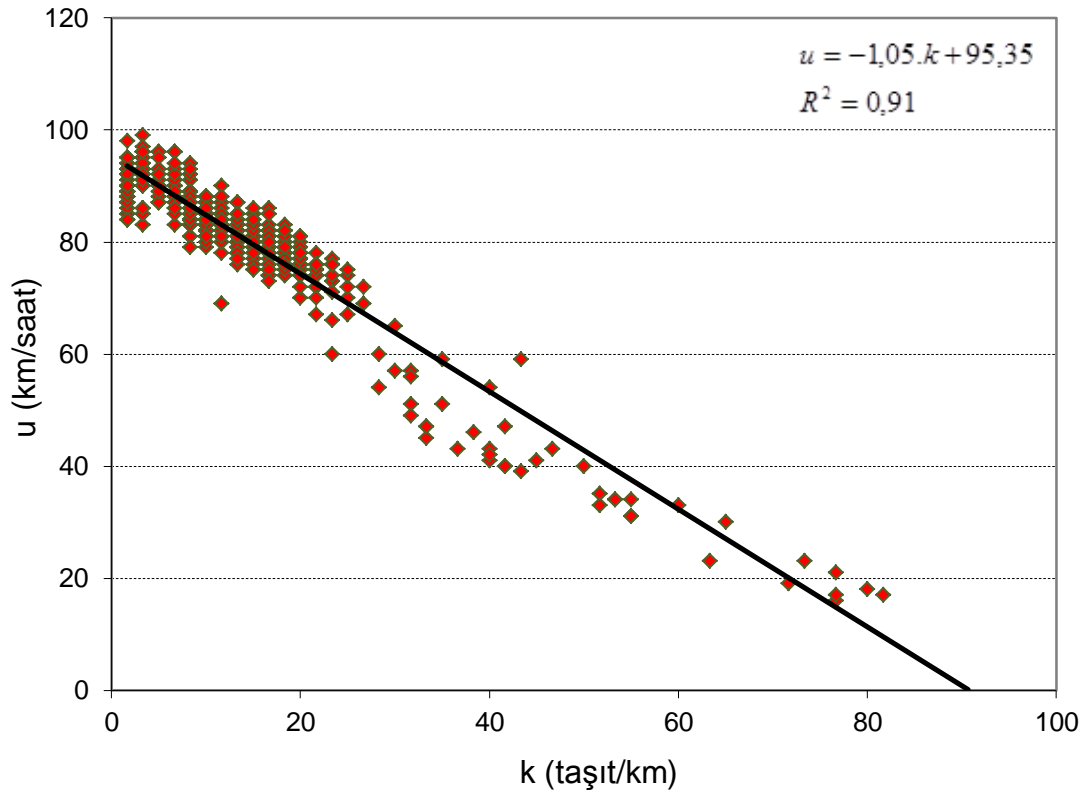
$$q = 107,41 \cdot k - 0,98 \cdot k^2 \quad (3.19)$$

$$q = \frac{107,41 \cdot u - u^2}{0,98} \quad (3.20)$$

olarak bulunmuştur.

Grafikler incelendiğinde havanın açık olduğu bir günde 305 numaralı sensörden alınan verilere göre; optimum hız değeri 54 km/saat, optimum yoğunluk değeri ise 55 araç/km olarak elde edilmiş ve buna karşılık maksimum trafik akım değeri 2954 araç/saat bulunmuştur.

### 3.3.4. 533 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki İlişkiler



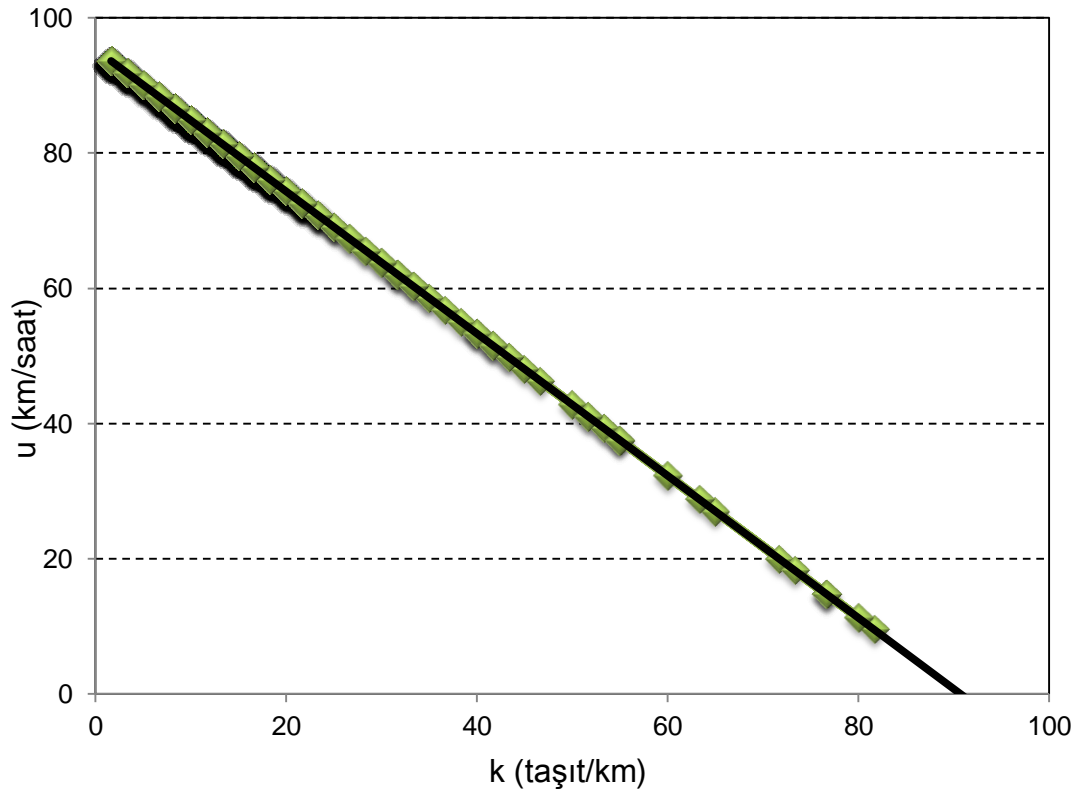
Şekil 3.15. 533 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği

| <u>q</u> | <u>u</u> | <u>k</u> | <u>Q<sub>i</sub></u> |
|----------|----------|----------|----------------------|
| 1297,36  | 77,84    | 16,67    | 10                   |
| 1297,36  | 77,84    | 16,67    | 10                   |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |

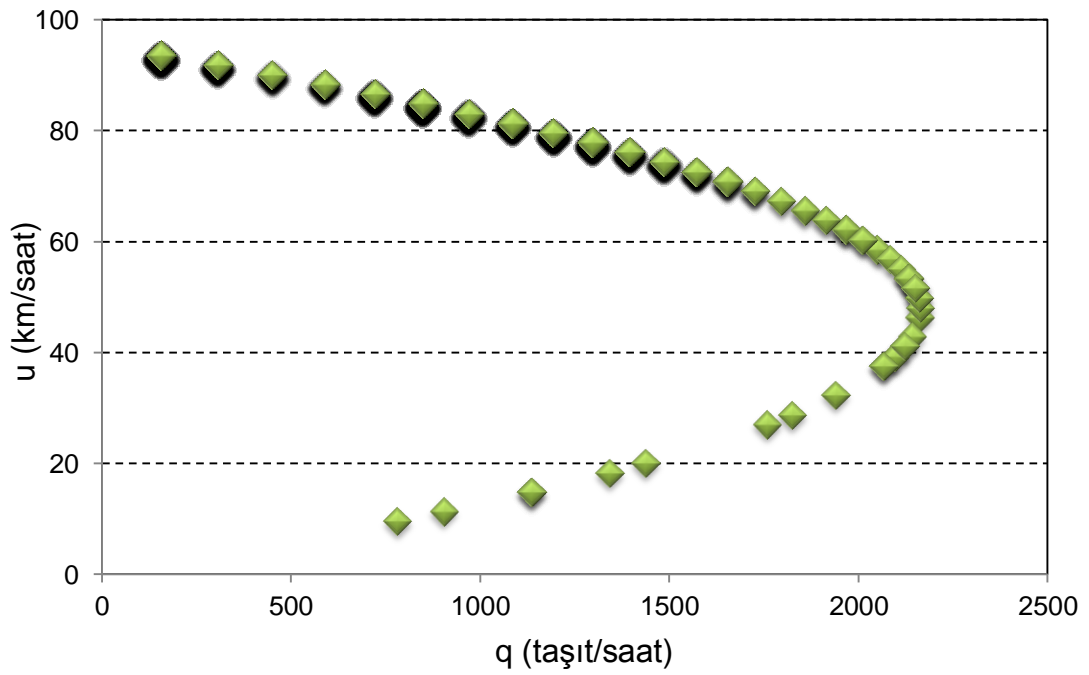
$$u = -1,05 \cdot k + 95,35 \quad (3.21)$$

$$q = -1,05 \cdot k^2 + 95,35 \cdot k \quad (3.22)$$

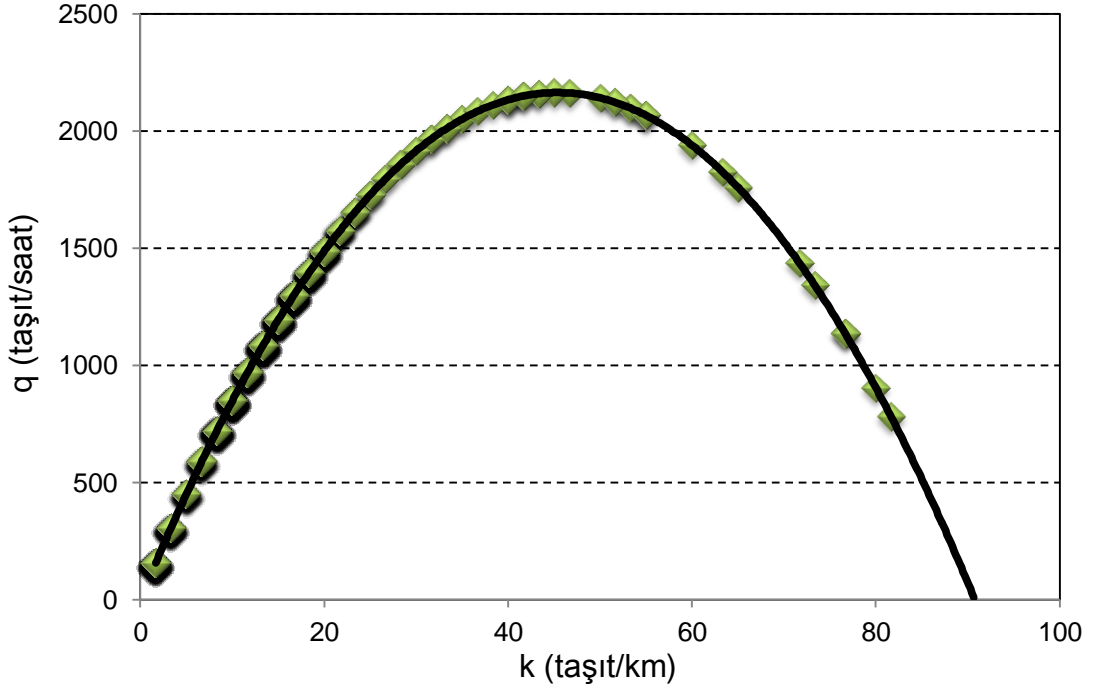




**Şekil 3.16.** 533 Numaralı sensör için u-k grafiği



**Şekil 3.17.** 533 Numaralı sensör için u-q grafiği



**Şekil 3.18.** 533 Numaralı sensör için q-k grafiği

Şekil 3.15. - 3.18.'den elde edilen sonuçlara göre; doğrusal regresyon çözümlenmesi sonucu hız ve yoğunluk değerleri için,

$$u = 95,35 - 1,05 \cdot k \quad (3.24)$$

denklemini elde edilmiştir. Akım-yoğunluk ve hız-akım bağıntıları ise sırasıyla,

$$q = 95,35 \cdot k - 1,05 \cdot k^2 \quad (3.25)$$

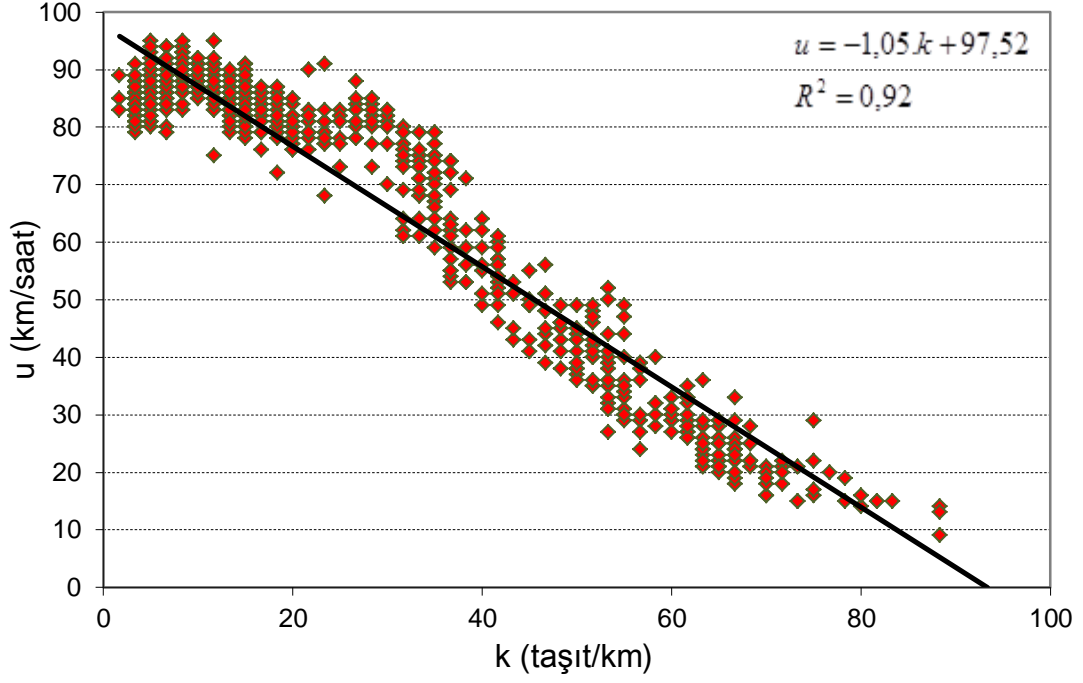
$$q = \frac{95,35 \cdot u - u^2}{1,05} \quad (3.26)$$

şeklinde bulunmuştur.

Havanın açık olduğu bir günde 533 numaralı sensörden alınan verilere göre; optimum hız, optimum yoğunluk ve buna karşılık maksimum trafik akım değeri sırasıyla, 48 km/saat, 46 araç/km ve 2169 araç/saat olarak hesaplanmıştır.

### 3.4. Havanın Yağmurlu Olduğu Bir Günde (14 Nisan 2011) Sensörlerden Alınan Veriler İçin Geliştirilen Modeller :

#### 3.4.1. 61 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki İlişkiler



**Şekil 3.19.** 61 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği

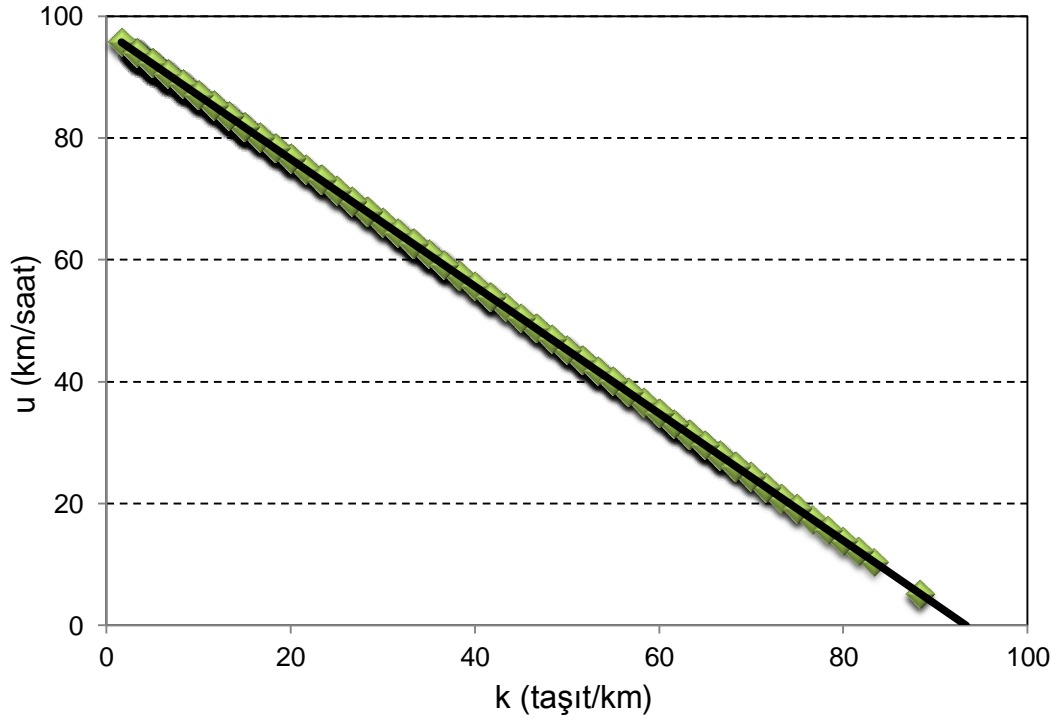
Bu bölümde yapılan hesaplamalarda ve hız, akım, yoğunluk ilişkileri için modellerin geliştirilmesi ile ilgili çalışmalarda hava durumunun açık olduğu bir gündeki işlemlere benzer hesaplamalar yapılmıştır.

| <u>q</u> | <u>u</u> | <u>k</u> | <u>Q<sub>i</sub></u> |
|----------|----------|----------|----------------------|
| 740,08   | 88,81    | 8,33     | 5                    |
| 740,08   | 88,81    | 8,33     | 5                    |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |

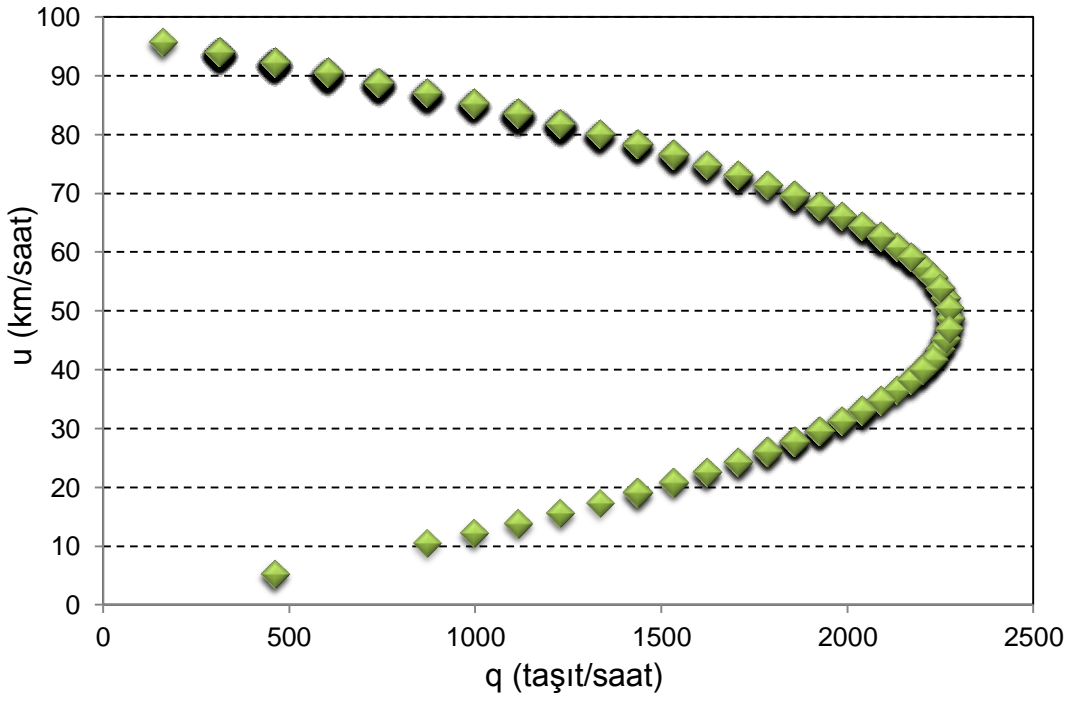
$$u = -1,05 \cdot k + 97,52 \quad (3.27)$$

$$q = -1,05 \cdot k^2 + 97,52 \cdot k \quad (3.28)$$

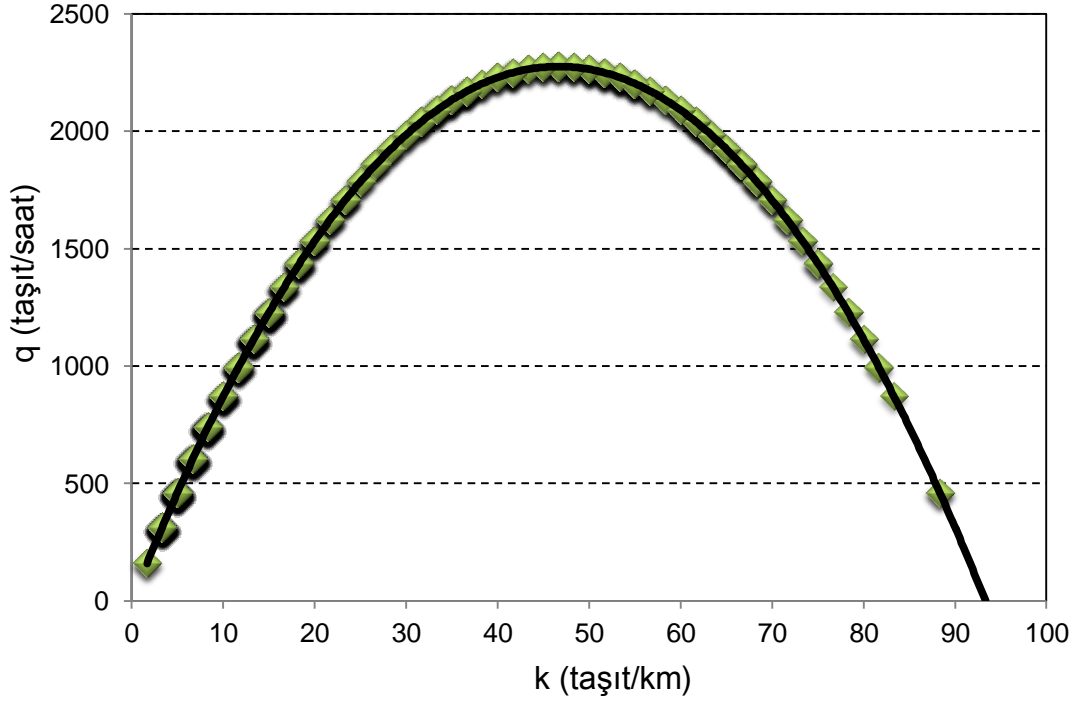
$$D = \left[ \frac{Q_i \cdot 10}{(5+1)} \right] \quad (3.29)$$



Şekil 3.20. 61 Numaralı sensör için u-k grafiği



Şekil 3.21. 61 Numaralı sensör için u-q grafiği



**Şekil 3.22.** 61 Numaralı sensör için q-k grafiği

Şekil 3.19. - 3.22.'den elde edilen sonuçlara göre; doğrusal regresyon çözümlenmesi sonucu hız ve yoğunluk değerleri için,

$$u = 97,52 - 1,05 \cdot k \quad (3.30)$$

denklemini elde edilmiştir. Akım-yoğunluk ve hız-akım bağıntıları ise sırasıyla,

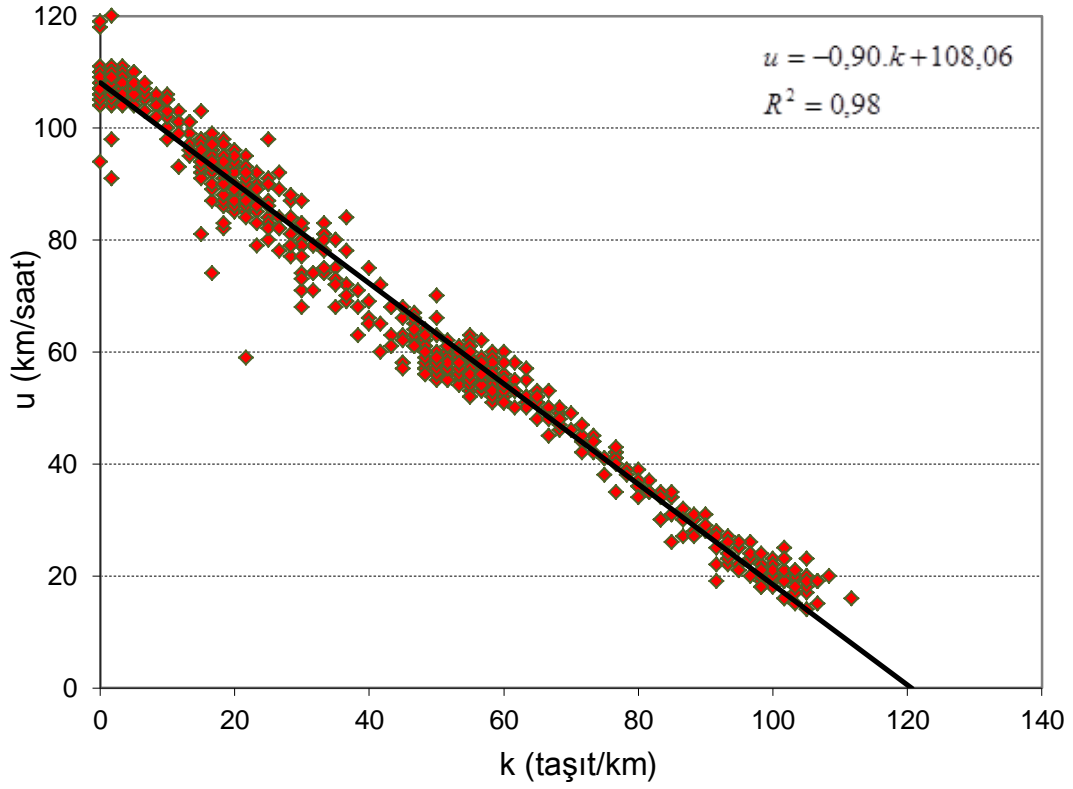
$$q = 97,52 \cdot k - 1,05 \cdot k^2 \quad (3.31)$$

$$q = \frac{97,52 \cdot u - u^2}{1,05} \quad (3.32)$$

olarak bulunmuştur.

Grafikler incelendiğinde havanın yağmurlu olduğu bir günde 61 numaralı sensörün yer aldığı yolda; optimum hız değeri 49 km/saat, optimum yoğunluk değeri ise 47 araç/km elde edilmiş ve buna karşılık maksimum trafik akım değeri 2268 araç/saat olarak hesaplanmıştır.

### 3.4.2. 85 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki İlişkiler

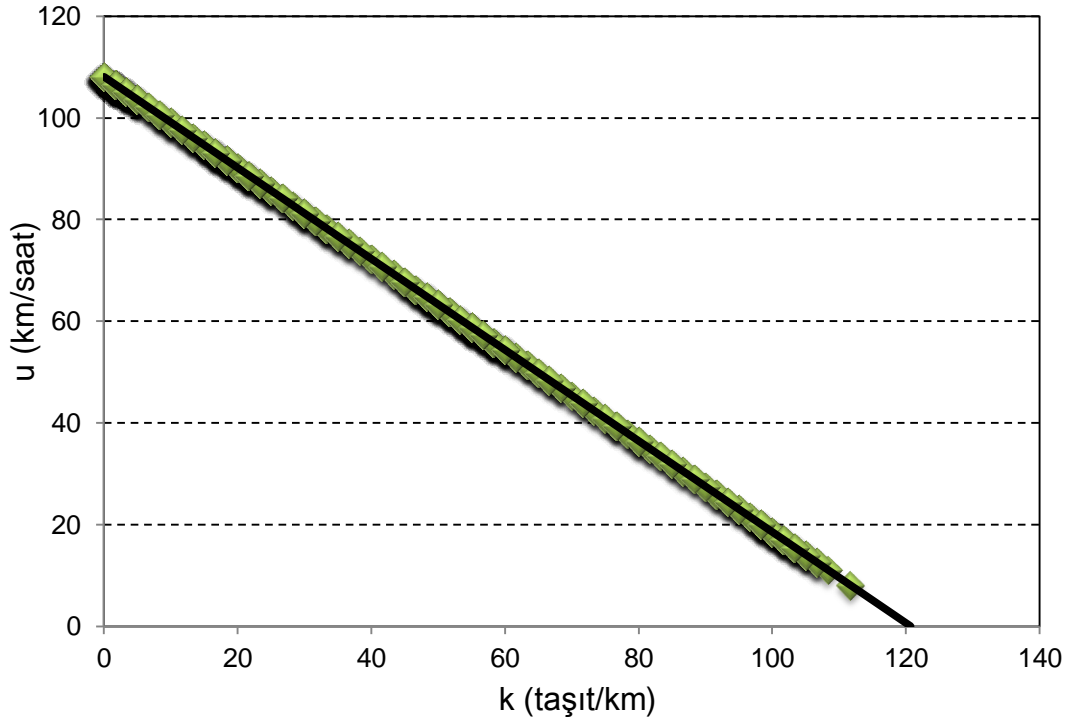


Şekil 3.23. 85 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği

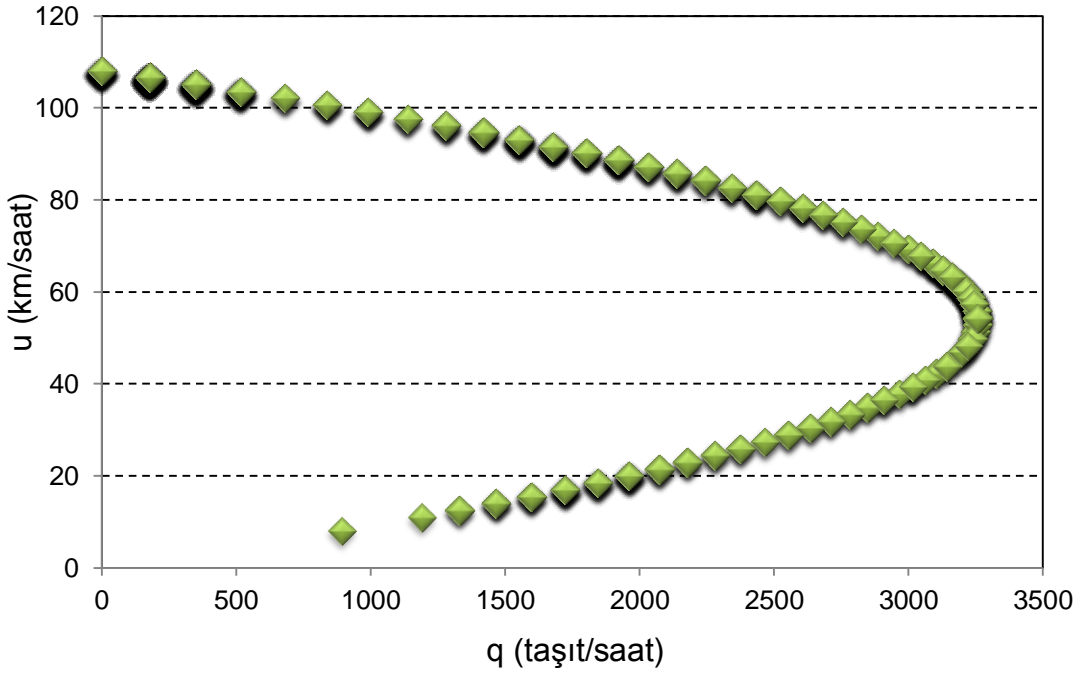
| <u>q</u> | <u>u</u> | <u>k</u> | <u>Q<sub>i</sub></u> |
|----------|----------|----------|----------------------|
| 1552,11  | 93,13    | 16,67    | 10                   |
| 1679,94  | 91,63    | 18,33    | 11                   |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |

$$u = -0,90 \cdot k + 108,06 \quad (3.33)$$

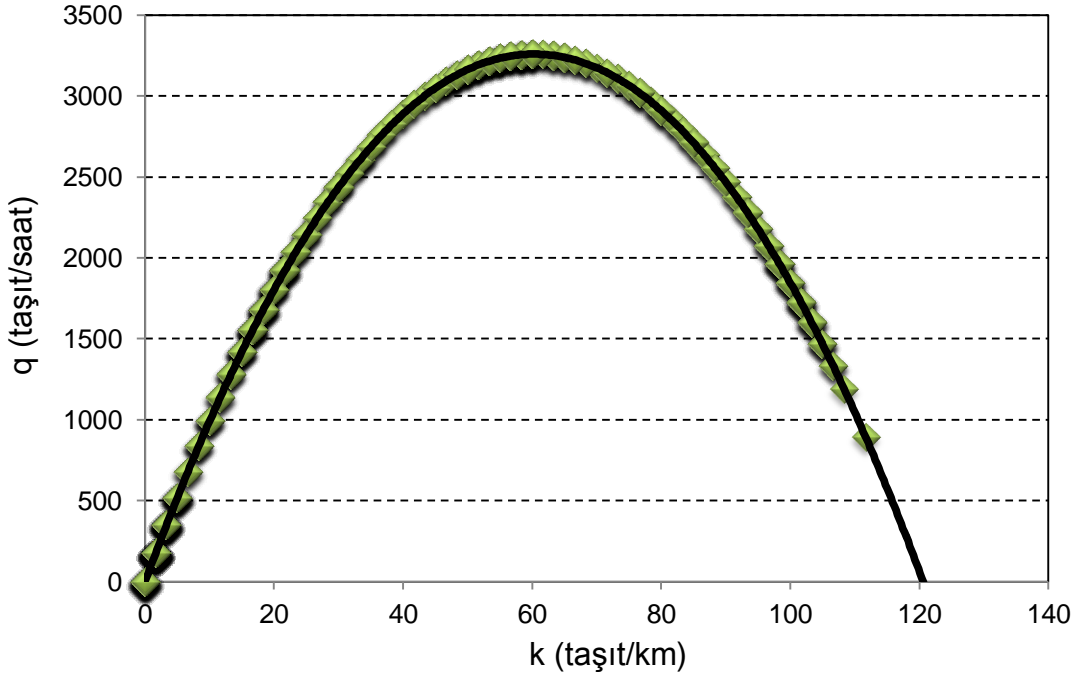
$$q = -0,90 \cdot k^2 + 108,06 \cdot k \quad (3.34)$$



**Şekil 3.24.** 85 Numaralı sensör için u-k grafiği



**Şekil 3.25.** 85 Numaralı sensör için u-q grafiği



**Şekil 3.26.** 85 Numaralı sensör için q-k grafiği

Şekil 3.23. - 3.26.'dan elde edilen sonuçlara göre; doğrusal regresyon çözümlenmesi sonucu hız ve yoğunluk değerleri için,

$$u = 108,06 - 0,90 \cdot k \quad (3.36)$$

denklemini elde edilmiştir. Akım-yoğunluk ve hız-akım bağıntıları ise sırasıyla,

$$q = 108,06 \cdot k - 0,90 \cdot k^2 \quad (3.37)$$

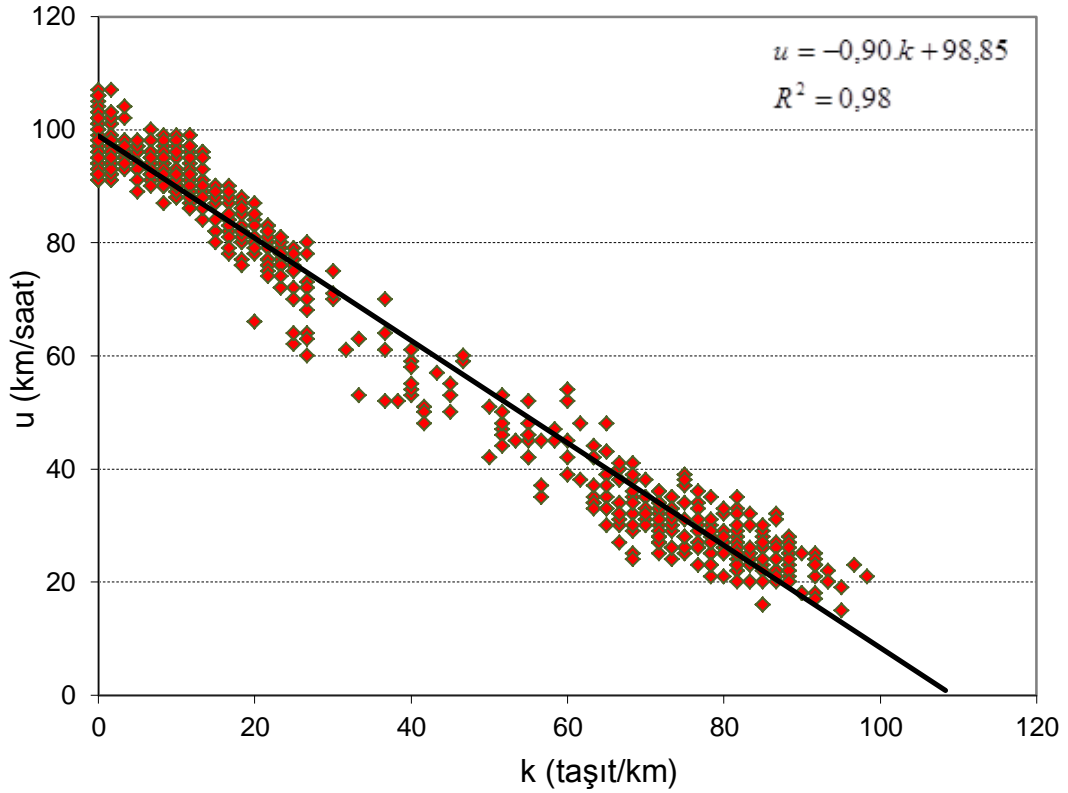
$$q = \frac{108,06 \cdot u - u^2}{0,90} \quad (3.38)$$

şeklinde bulunmuştur.

Havanın yağmurlu olduğu bir günde 85 numaralı sensörden alınan verilere göre; optimum hız, optimum yoğunluk ve buna karşılık maksimum trafik akım değeri sırasıyla, 54 km/saat, 61 araç/km ve 3269 araç/saat olarak hesaplanmıştır.



### 3.4.3. 286 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki İlişkiler

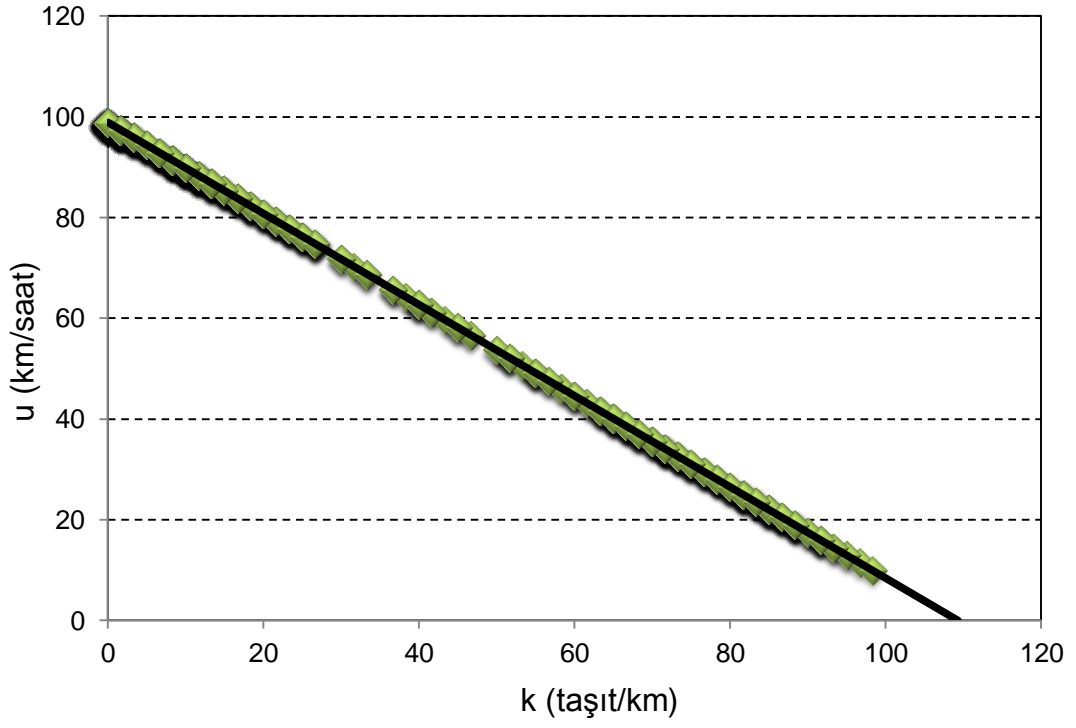


Şekil 3.27. 286 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği

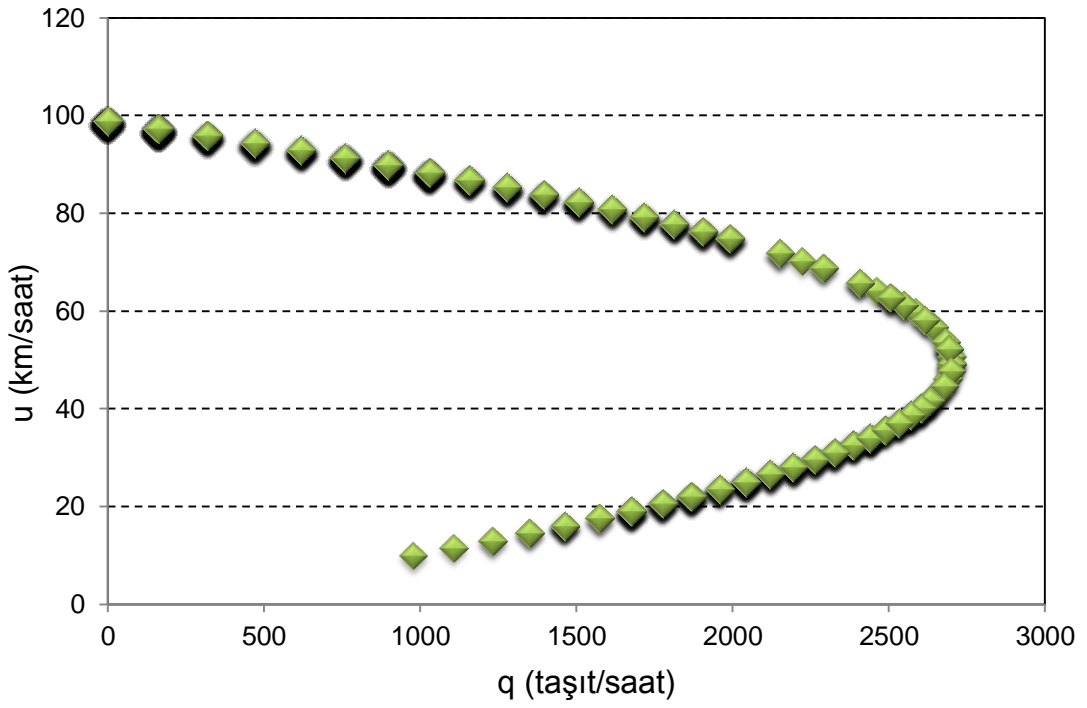
| <u>q</u> | <u>u</u> | <u>k</u> | <u>Q<sub>i</sub></u> |
|----------|----------|----------|----------------------|
| 760,96   | 91,32    | 8,33     | 5                    |
| 760,96   | 91,32    | 8,33     | 5                    |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |

$$u = -0,90 \cdot k + 98,85 \quad (3.39)$$

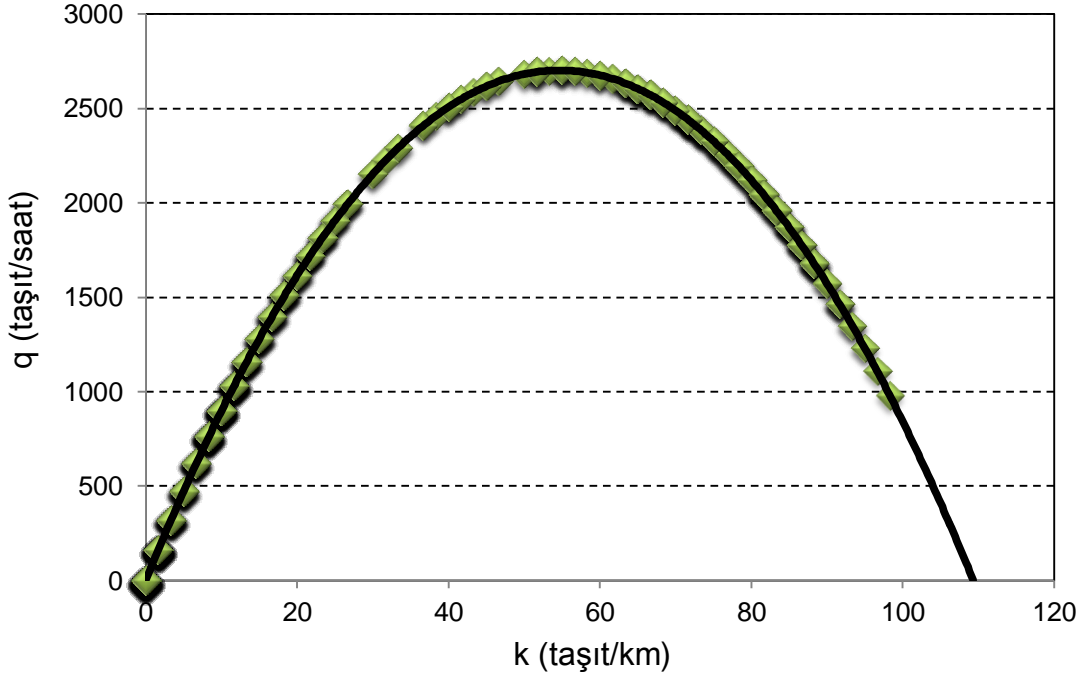
$$q = -0,90 \cdot k^2 + 98,85 \cdot k \quad (3.40)$$



**Şekil 3.28.** 286 Numaralı sensör için u-k grafiği



**Şekil 3.29.** 286 Numaralı sensör için u-q grafiği



**Şekil 3.30.** 286 Numaralı sensör için q-k grafiği

Şekil 3.27. - 3.30.'dan elde edilen sonuçlara göre; doğrusal regresyon çözümlemesi sonucu hız ve yoğunluk değerleri için,

$$u = 98,85 - 0,90 \cdot k \quad (3.42)$$

denklemini elde edilmiştir. Akım-yoğunluk ve hız-akım bağıntıları ise sırasıyla,

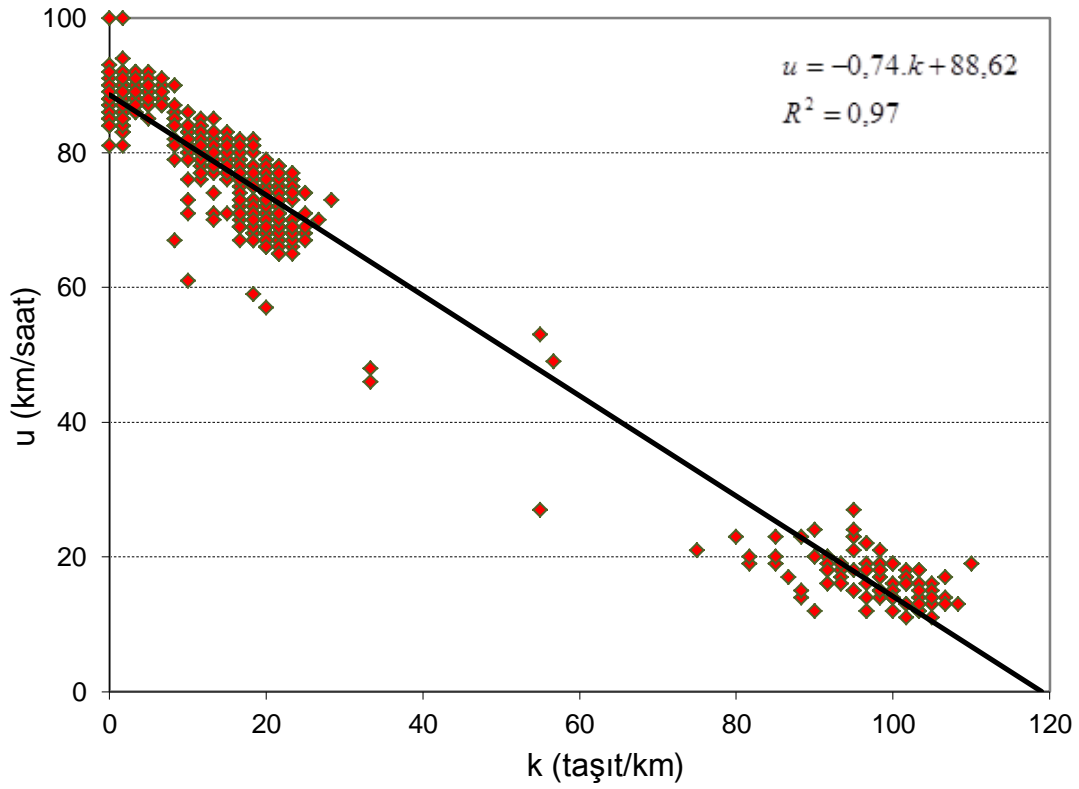
$$q = 98,85 \cdot k - 0,90 \cdot k^2 \quad (3.43)$$

$$q = \frac{98,85 \cdot u - u^2}{0,90} \quad (3.44)$$

şeklinde bulunmuştur.

Havanın yağmurlu olduğu bir günde 286 numaralı sensörden alınan verilere göre; optimum hız değeri 49 km/saat, optimum yoğunluk değeri 55 araç/km bulunmuş ve buna karşılık maksimum trafik akım değeri ise 2694 araç/saat olarak hesaplanmıştır.

### 3.4.4. 300 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki İlişkiler

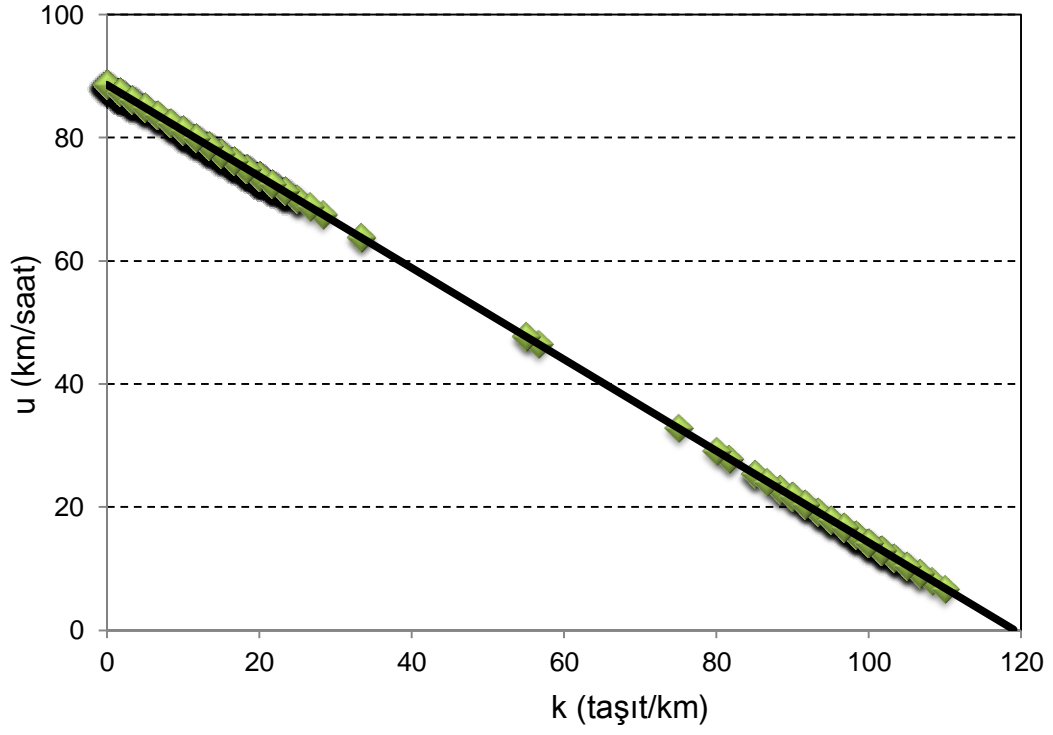


Şekil 3.31. 300 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği

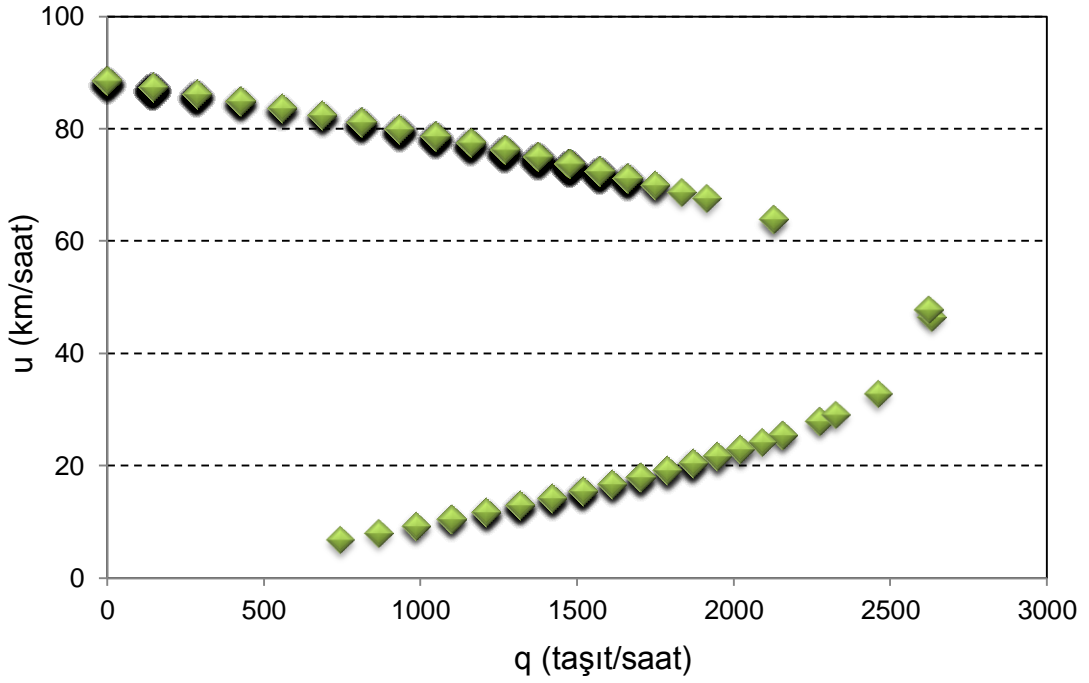
| <u>q</u> | <u>u</u> | <u>k</u> | <u>Q<sub>i</sub></u> |
|----------|----------|----------|----------------------|
| 686,82   | 82,42    | 8,33     | 5                    |
| 932,61   | 79,94    | 11,67    | 7                    |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |

$$u = -0,74 \cdot k + 88,62 \quad (3.45)$$

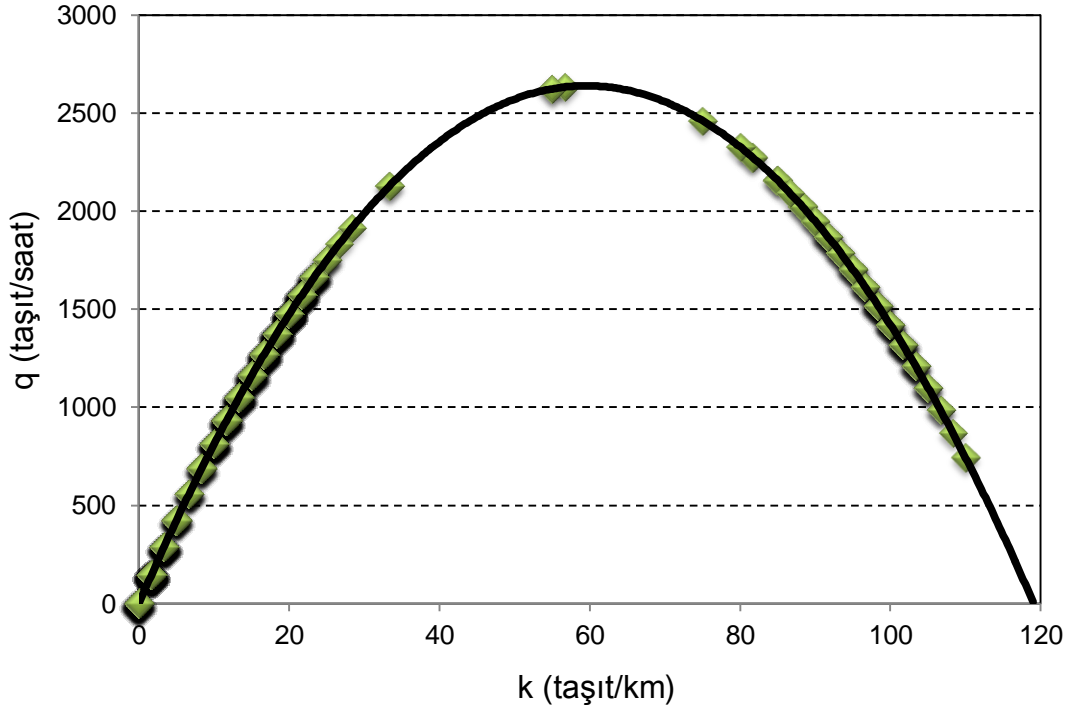
$$q = -0,74 \cdot k^2 + 88,62 \cdot k \quad (3.46)$$



**Şekil 3.32.** 300 Numaralı sensör için u-k grafiği



**Şekil 3.33.** 300 Numaralı sensör için u-q grafiği



**Şekil 3.34.** 300 Numaralı sensör için q-k grafiği

Şekil 3.31. - 3.34.'den elde edilen sonuçlara göre; doğrusal regresyon çözümlemesi sonucu hız ve yoğunluk değerleri için,

$$u = 88,62 - 0,74 \cdot k \quad (3.48)$$

denklemini elde edilmiştir. Akım-yoğunluk ve hız-akım bağıntıları ise sırasıyla,

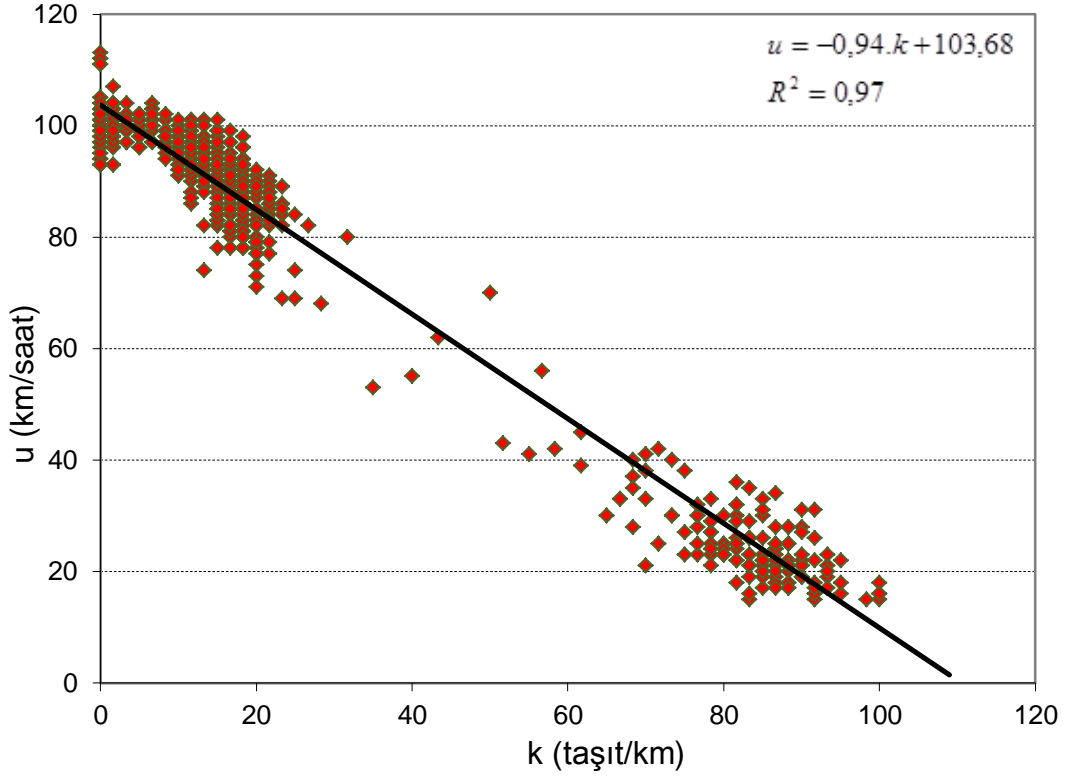
$$q = 88,62 \cdot k - 0,74 \cdot k^2 \quad (3.49)$$

$$q = \frac{88,62 \cdot u - u^2}{0,74} \quad (3.50)$$

olarak bulunmuştur.

300 numaralı sensörden alınan verilere göre; optimum hız, optimum yoğunluk ve buna karşılık maksimum trafik akım değeri sırasıyla, 44 km/saat, 60 araç/km ve 2637 araç/saat olarak hesaplanmıştır.

### 3.4.5. 305 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki İlişkiler

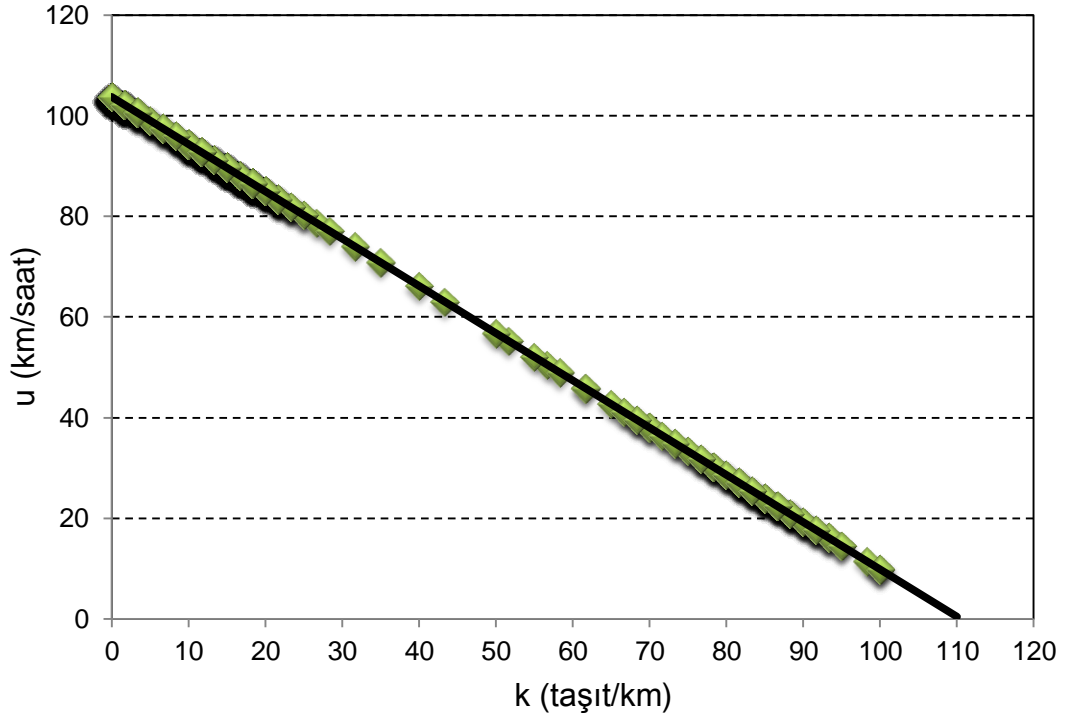


Şekil 3.35. 305 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği

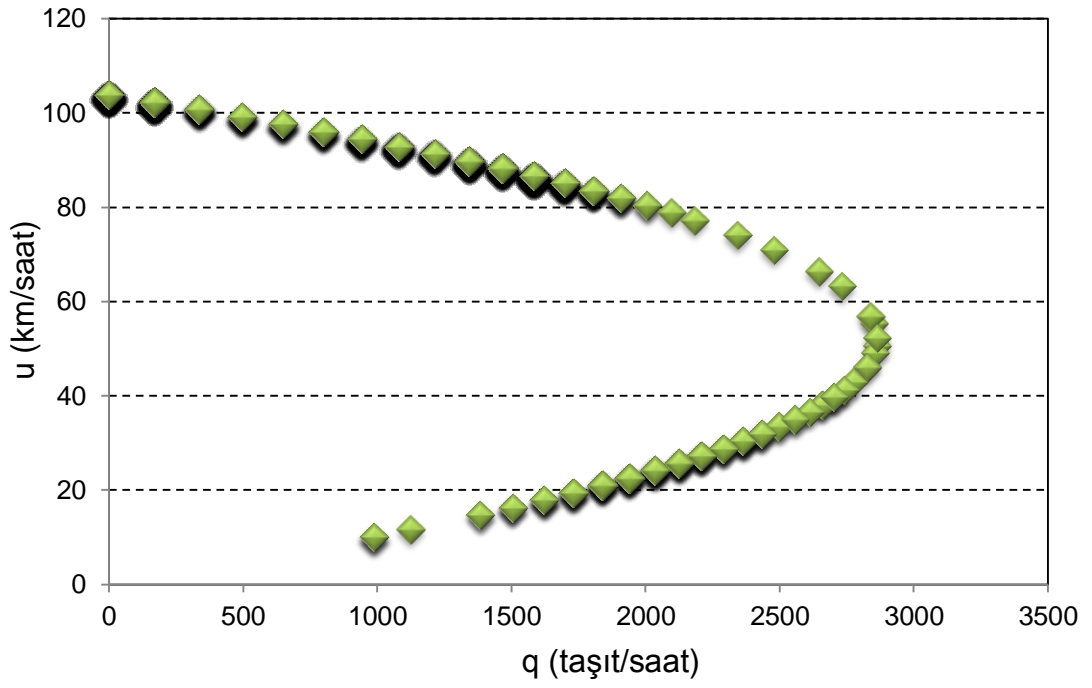
| <u>q</u> | <u>u</u> | <u>k</u> | <u>O<sub>i</sub></u> |
|----------|----------|----------|----------------------|
| 798,85   | 95,86    | 8,33     | 5                    |
| 1215,63  | 91,17    | 13,33    | 8                    |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |

$$u = -0,94 \cdot k + 103,68 \quad (3.51)$$

$$q = -0,94 \cdot k^2 + 103,68 \cdot k \quad (3.52)$$

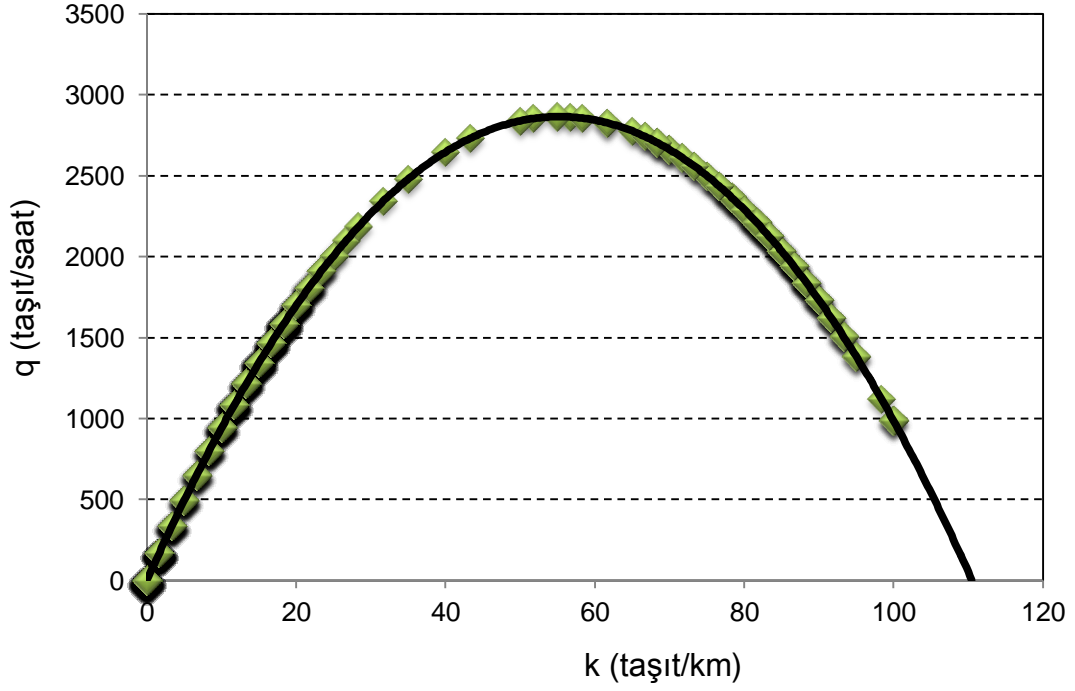


**Şekil 3.36.** 305 Numaralı sensör için u-k grafiği



**Şekil 3.37.** 305 Numaralı sensör için u-q grafiği





**Şekil 3.38.** 305 Numaralı sensör için q-k grafiği

Şekil 3.35. - 3.38.'den elde edilen sonuçlara göre; doğrusal regresyon çözümlemesi sonucu hız ve yoğunluk değerleri için,

$$u = 103,68 - 0,94 \cdot k \quad (3.54)$$

denklemini elde edilmiştir. Akım-yoğunluk ve hız-akım bağıntıları ise sırasıyla,

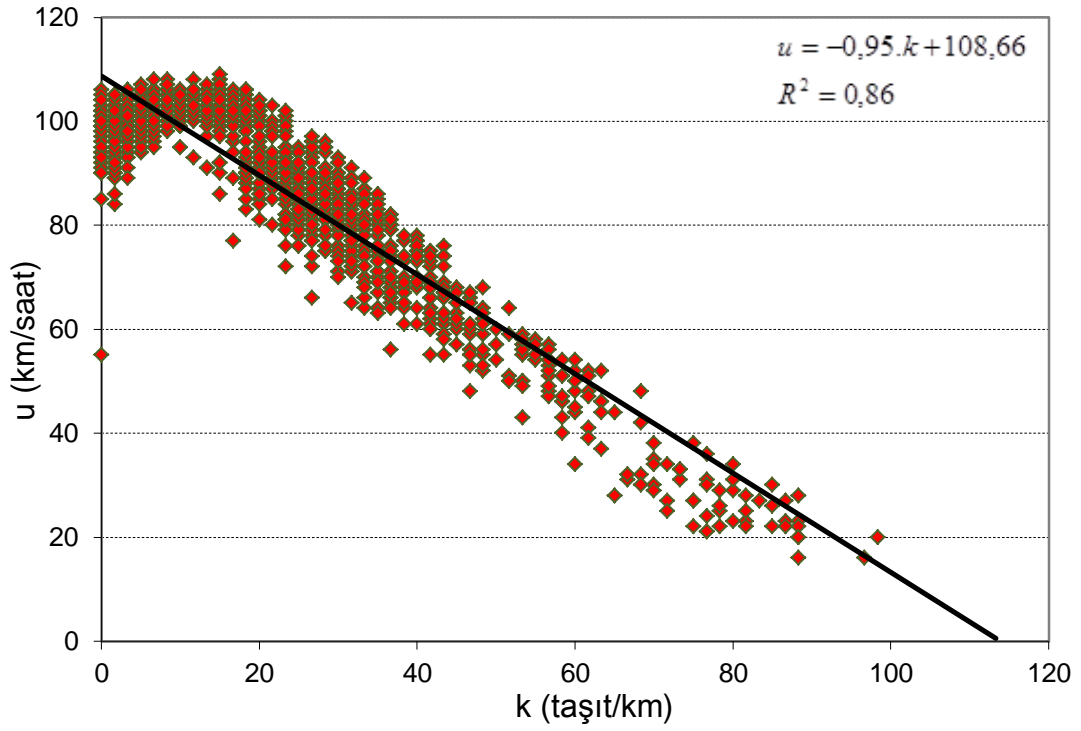
$$q = 103,68 \cdot k - 0,94 \cdot k^2 \quad (3.55)$$

$$q = \frac{103,68 \cdot u - u^2}{0,94} \quad (3.56)$$

şeklinde bulunmuştur.

Havanın yağmurlu olduğu bir günde 305 numaralı sensörden alınan verilere göre; optimum hız değeri 52 km/saat, optimum yoğunluk değeri ise 55 araç/km olarak elde edilmiş ve buna karşılık maksimum trafik akım değerinin 2851 araç/saat olduğu hesaplanmıştır.

### 3.4.6. 316 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki İlişkiler

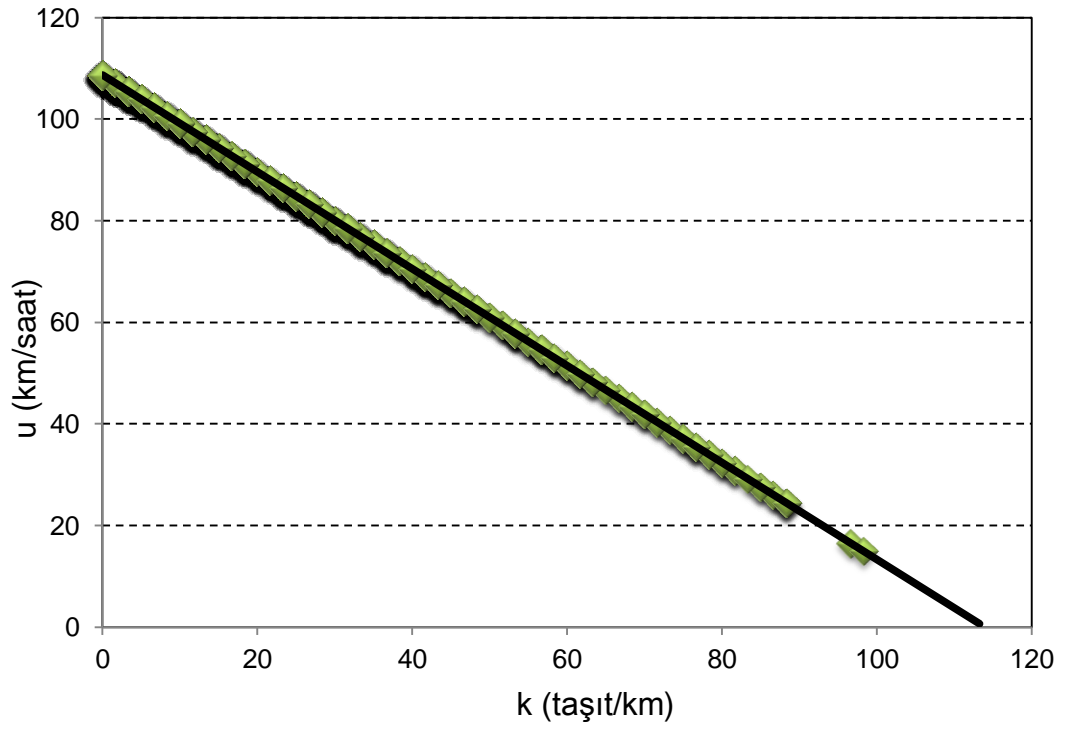


Şekil 3.39. 316 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği

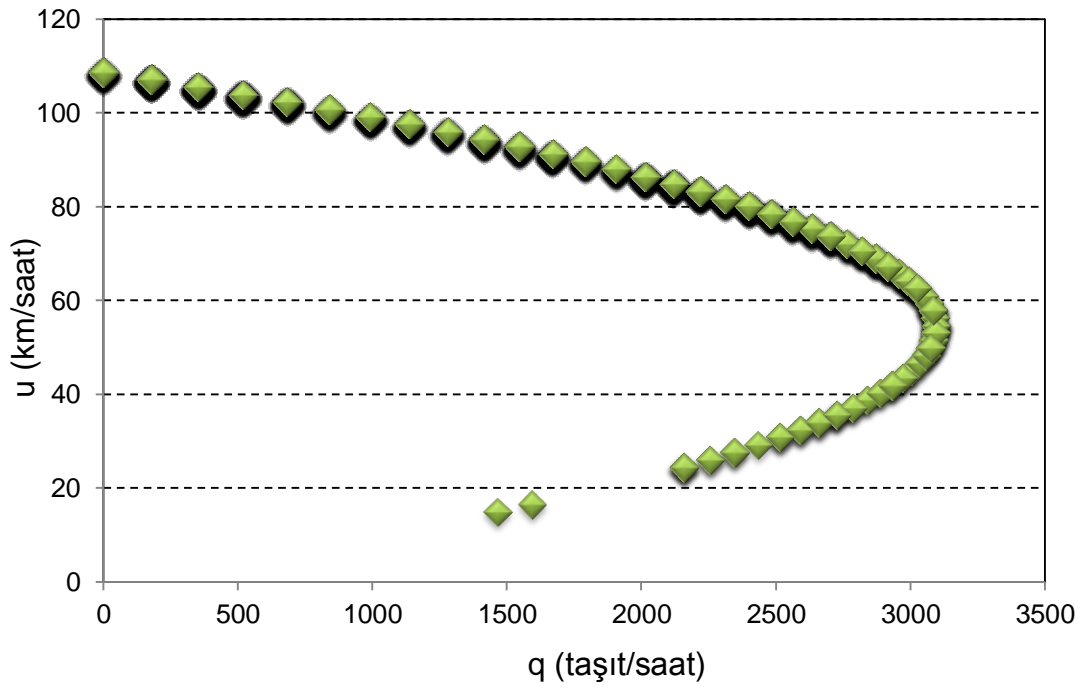
| <u>q</u> | <u>u</u> | <u>k</u> | <u>Q<sub>i</sub></u> |
|----------|----------|----------|----------------------|
| 1137,92  | 97,54    | 11,67    | 7                    |
| 1137,92  | 97,54    | 11,67    | 7                    |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |

$$u = -0,95 \cdot k + 108,66 \quad (3.57)$$

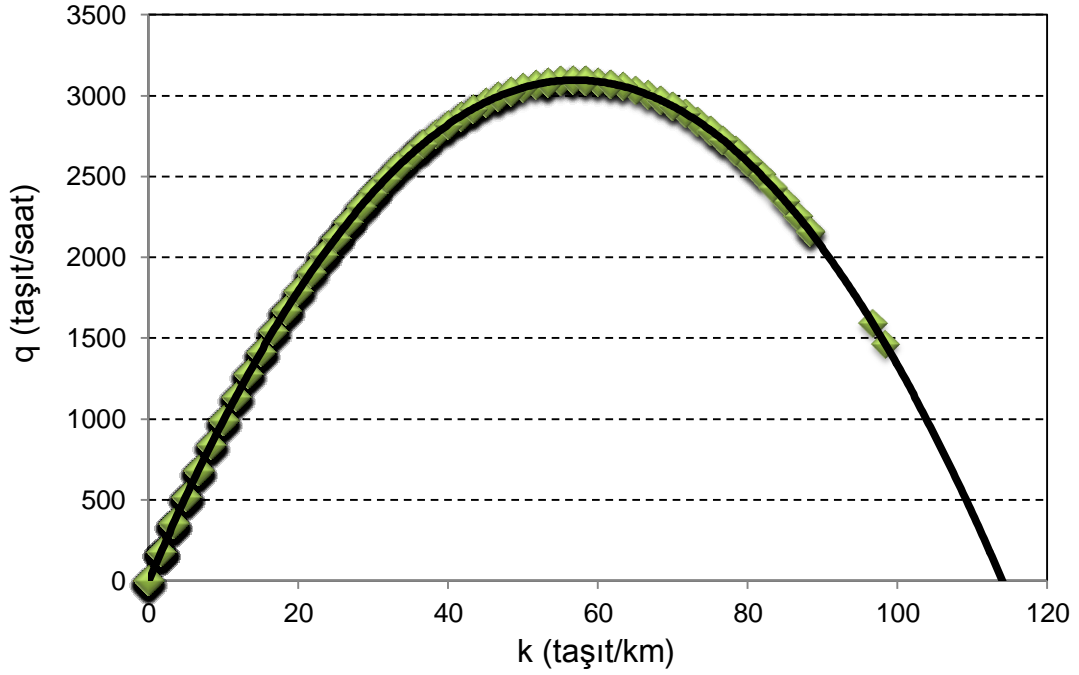
$$q = -0,95 \cdot k^2 + 108,66 \cdot k \quad (3.58)$$



**Şekil 3.40.** 316 Numaralı sensör için u-k grafiği



**Şekil 3.41.** 316 Numaralı sensör için u-q grafiği



**Şekil 3.42.** 316 Numaralı sensör için q-k grafiği

Şekil 3.39. - 3.42.'den elde edilen sonuçlara göre; doğrusal regresyon çözümlemesi sonucu hız ve yoğunluk değerleri için,

$$u = 108,66 - 0,95 \cdot k \quad (3.60)$$

denklemini elde edilmiştir. Akım-yoğunluk ve hız-akım bağıntıları ise sırasıyla,

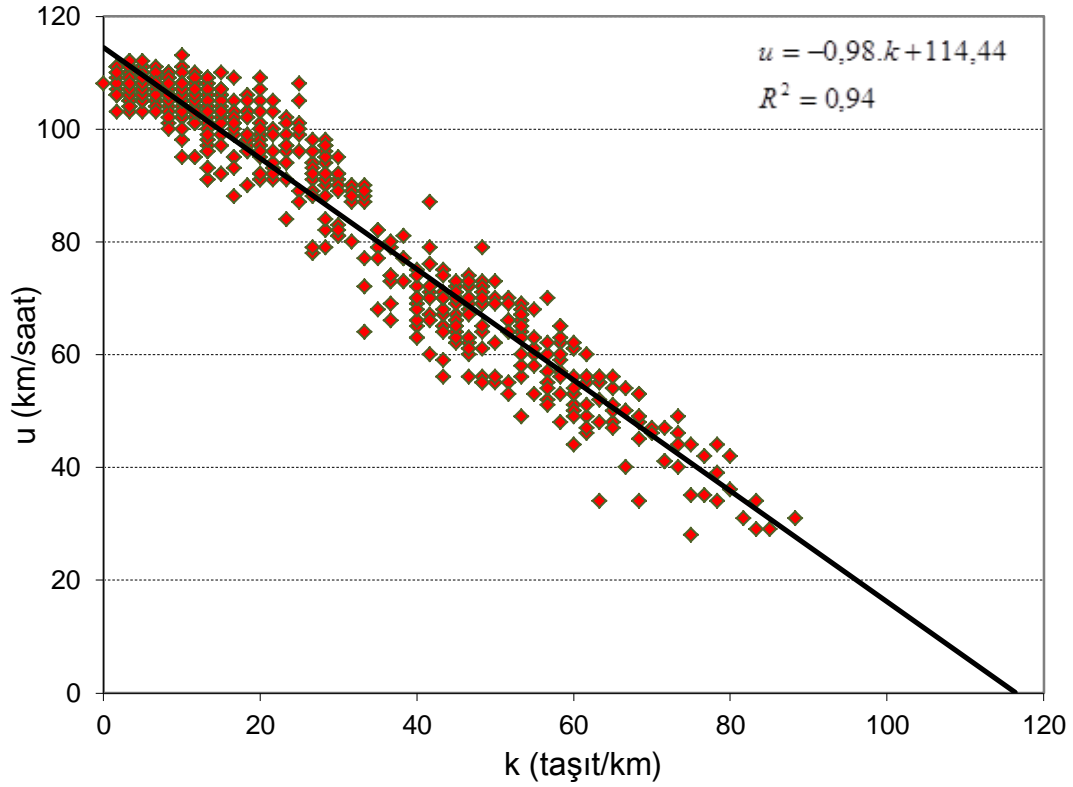
$$q = 108,66 \cdot k - 0,95 \cdot k^2 \quad (3.61)$$

$$q = \frac{108,66 \cdot u - u^2}{0,95} \quad (3.62)$$

olarak bulunmuştur.

Grafikler incelendiğinde havanın yağmurlu olduğu bir günde 316 numaralı sensörden alınan verilere göre; optimum hız değeri 54 km/saat, optimum yoğunluk değeri ise 57 araç/km olarak elde edilmiş ve buna karşılık maksimum trafik akım değerinin 3097 araç/saat olduğu hesaplanmıştır.

### 3.4.7. 328 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki İlişkiler

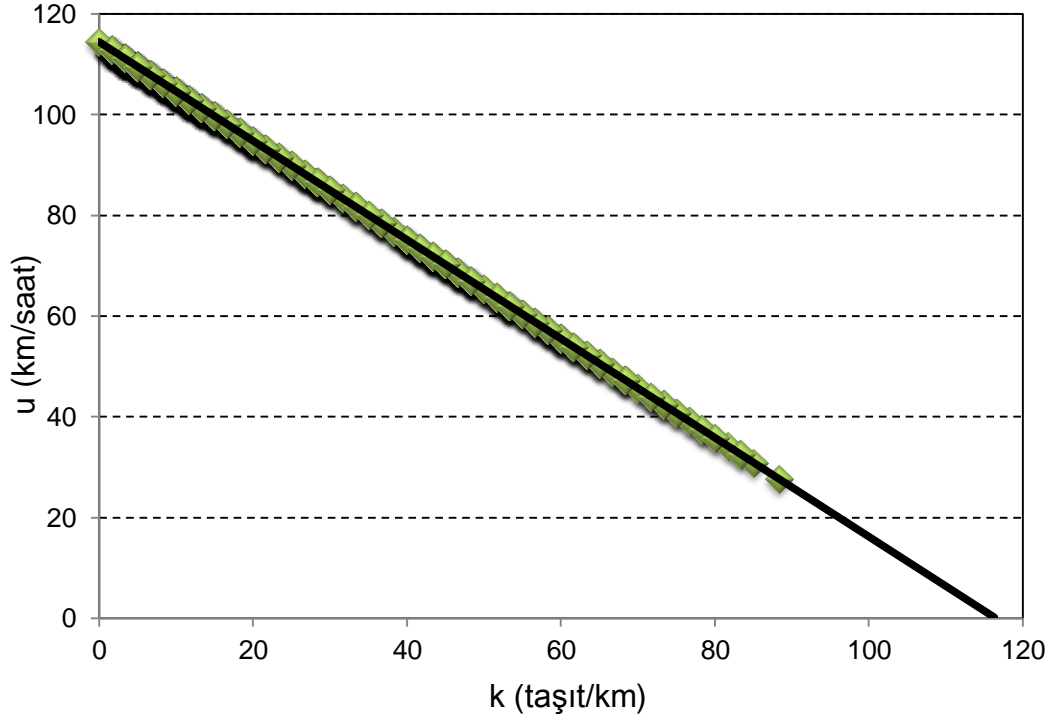


Şekil 3.43. 328 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği

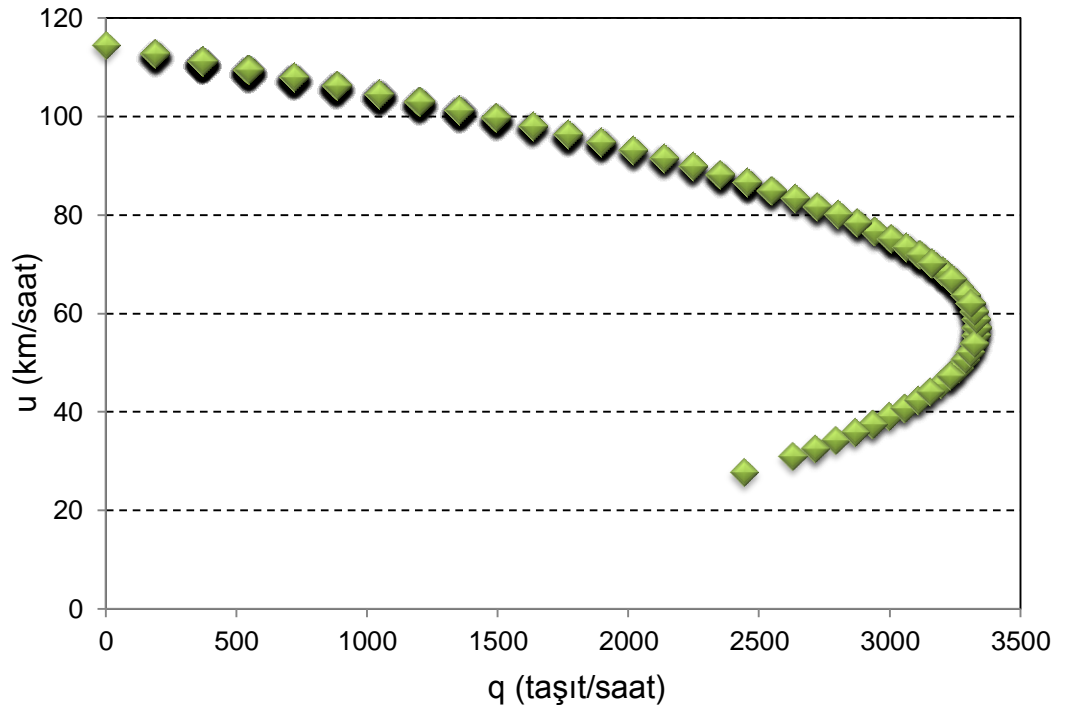
| <u>q</u> | <u>u</u> | <u>k</u> | <u>Q<sub>i</sub></u> |
|----------|----------|----------|----------------------|
| 719,27   | 107,89   | 6,67     | 4                    |
| 719,27   | 107,89   | 6,67     | 4                    |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |

$$u = -0,98 \cdot k + 114,44 \quad (3.63)$$

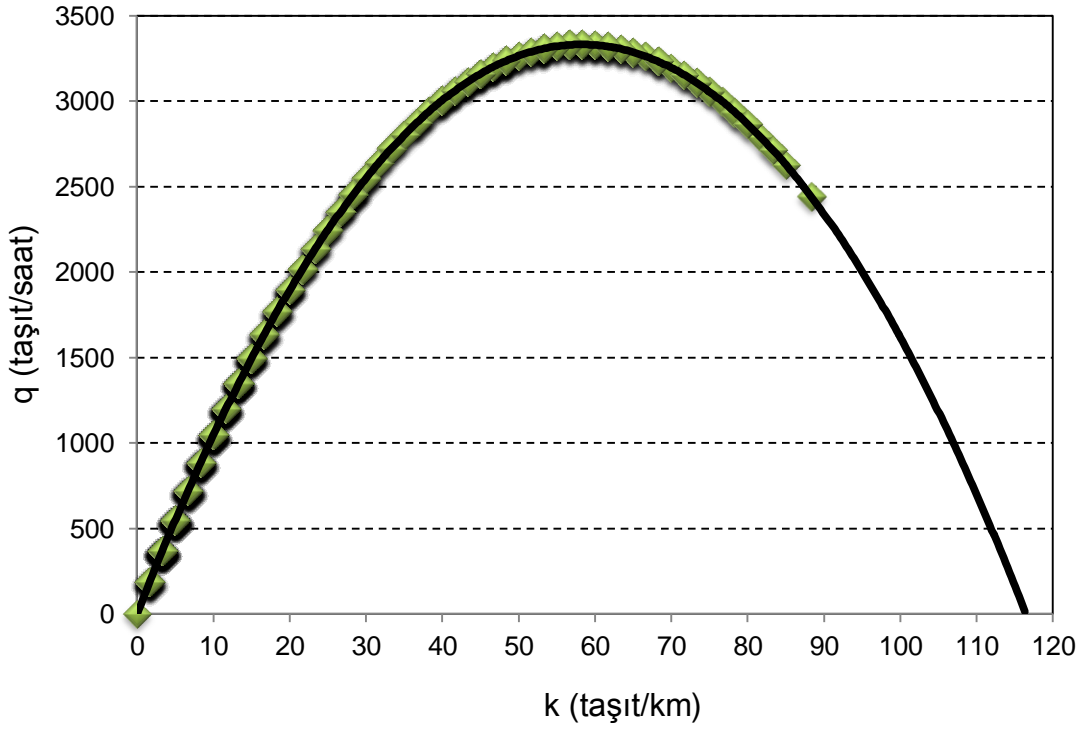
$$q = -0,98 \cdot k^2 + 114,44 \cdot k \quad (3.64)$$



**Şekil 3.44.** 328 Numaralı sensör için u-k grafiği



**Şekil 3.45.** 328 Numaralı sensör için u-q grafiği



**Şekil 3.46.** 328 Numaralı sensör için q-k grafiği

Şekil 3.43. - 3.46.'dan elde edilen sonuçlara göre; doğrusal regresyon çözümlemesi sonucu hız ve yoğunluk değerleri için,

$$u = 114,44 - 0,98 \cdot k \quad (3.66)$$

denklemini elde edilmiştir. Akım-yoğunluk ve hız-akım bağıntıları ise sırasıyla,

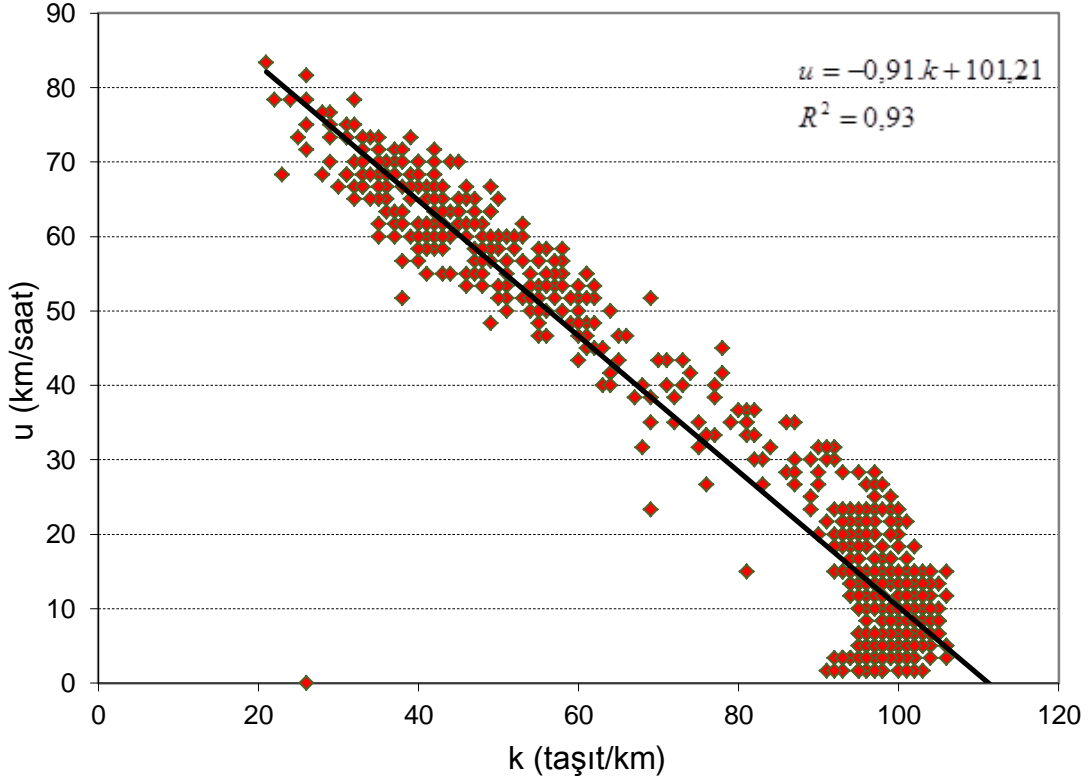
$$q = 114,44 \cdot k - 0,98 \cdot k^2 \quad (3.67)$$

$$q = \frac{114,44 \cdot u - u^2}{0,98} \quad (3.68)$$

olarak bulunmuştur.

Havanın yağmurlu olduğu bir günde 328 numaralı sensörden alınan verilere göre; optimum hız, optimum yoğunluk ve buna karşılık maksimum trafik akım değerinin sırasıyla, 57 km/saat, 58 araç/km 3319 olduğu hesap edilmiştir.

### 3.4.8. 329 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki İlişkiler



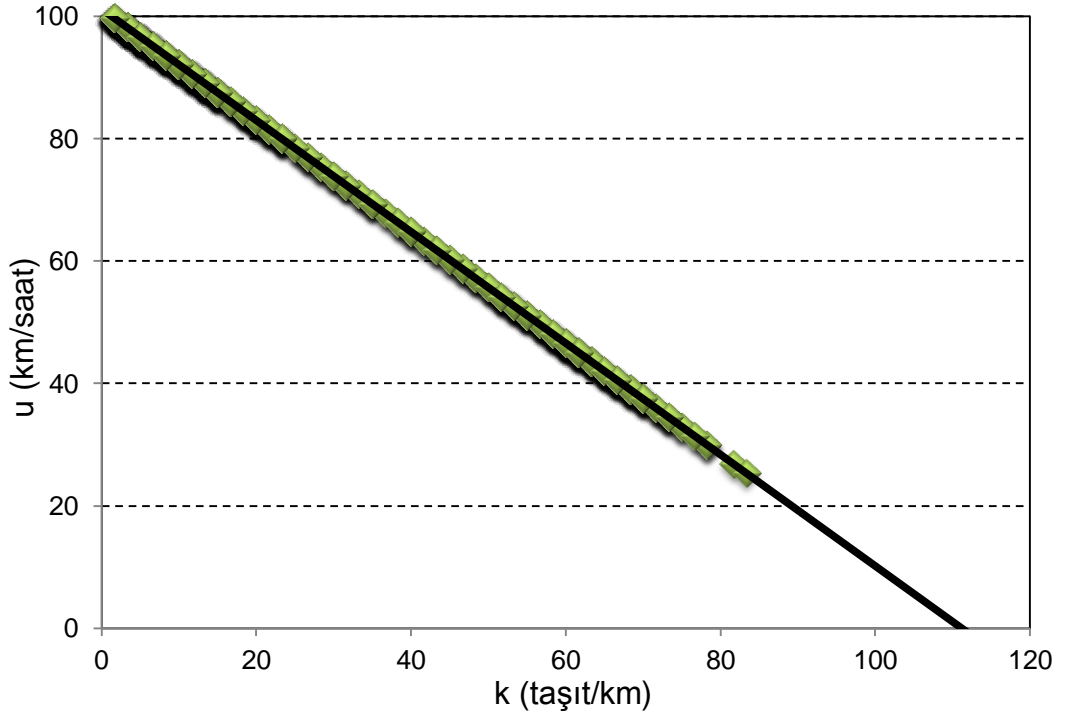
Şekil 3.47. 329 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği

| <b>q</b> | <b>u</b> | <b>k</b> | <b>Q<sub>i</sub></b> |
|----------|----------|----------|----------------------|
| 780,23   | 93,63    | 8,33     | 5                    |
| 634,29   | 95,14    | 6,67     | 4                    |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |

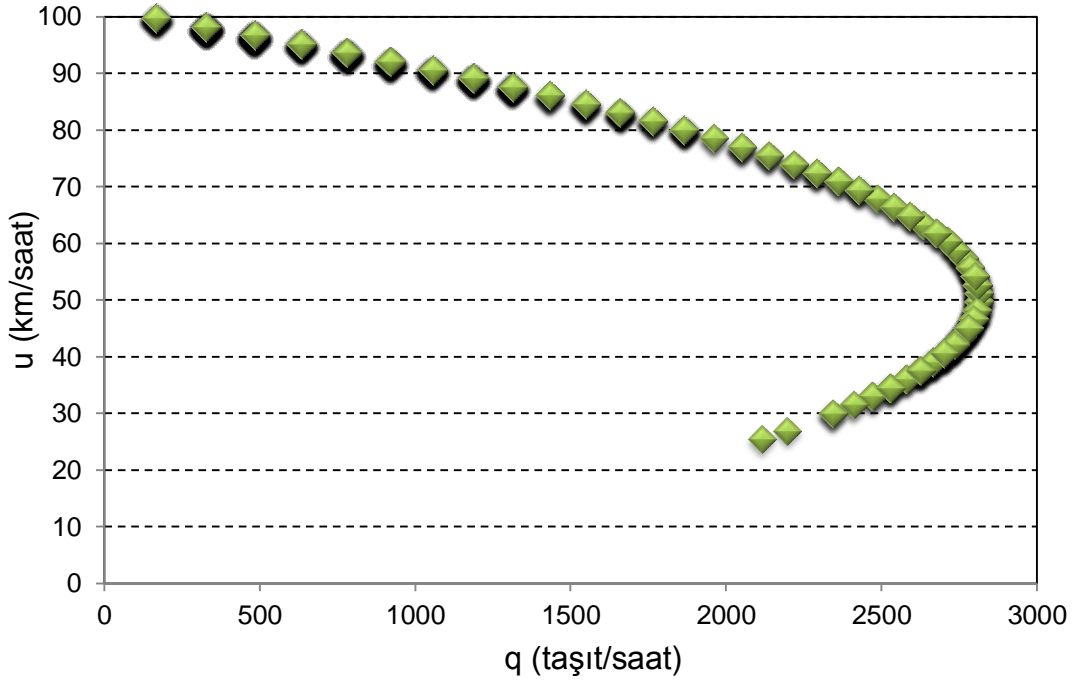
$$u = -0,91 \cdot k + 101,21 \quad (3.69)$$

$$q = -0,91 \cdot k^2 + 101,21 \cdot k \quad (3.70)$$

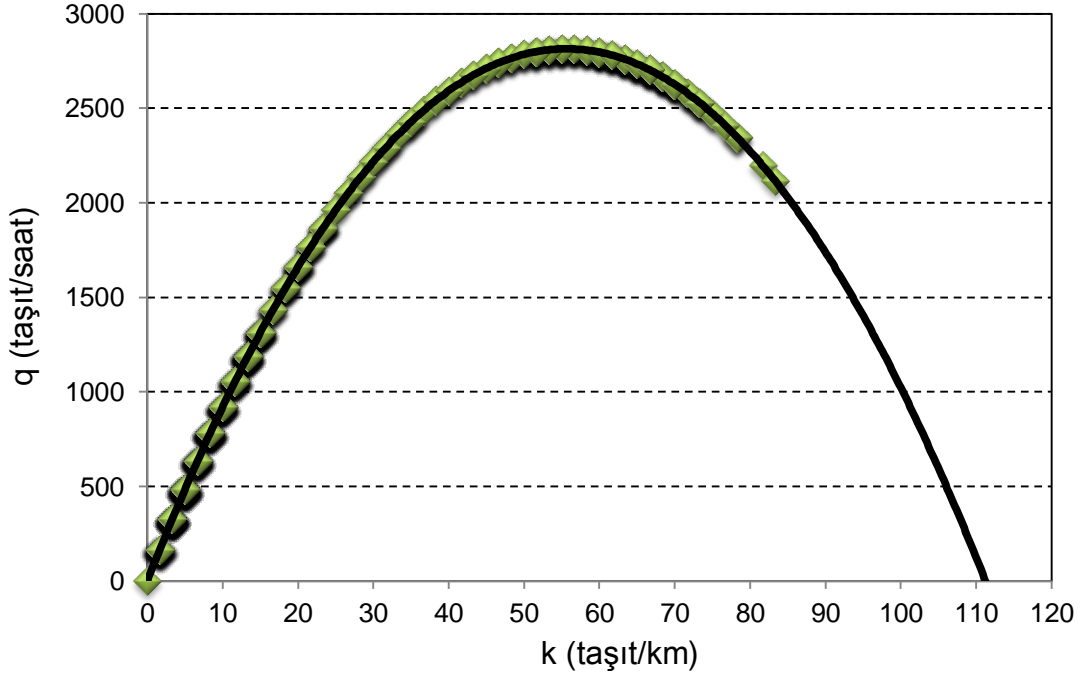




**Şekil 3.48.** 329 Numaralı sensör için u-k grafiği



**Şekil 3.49.** 329 Numaralı sensör için u-q grafiği



**Şekil 3.50.** 329 Numaralı sensör için q-k grafiği

Şekil 3.47. - 3.50.'den elde edilen sonuçlara göre; doğrusal regresyon çözümlemesi sonucu hız ve yoğunluk değerleri için,

$$u = 101,21 - 0,91 \cdot k \quad (3.72)$$

denklemini elde edilmiştir. Akım-yoğunluk ve hız-akım bağıntıları ise sırasıyla,

$$q = 101,21 \cdot k - 0,91 \cdot k^2 \quad (3.73)$$

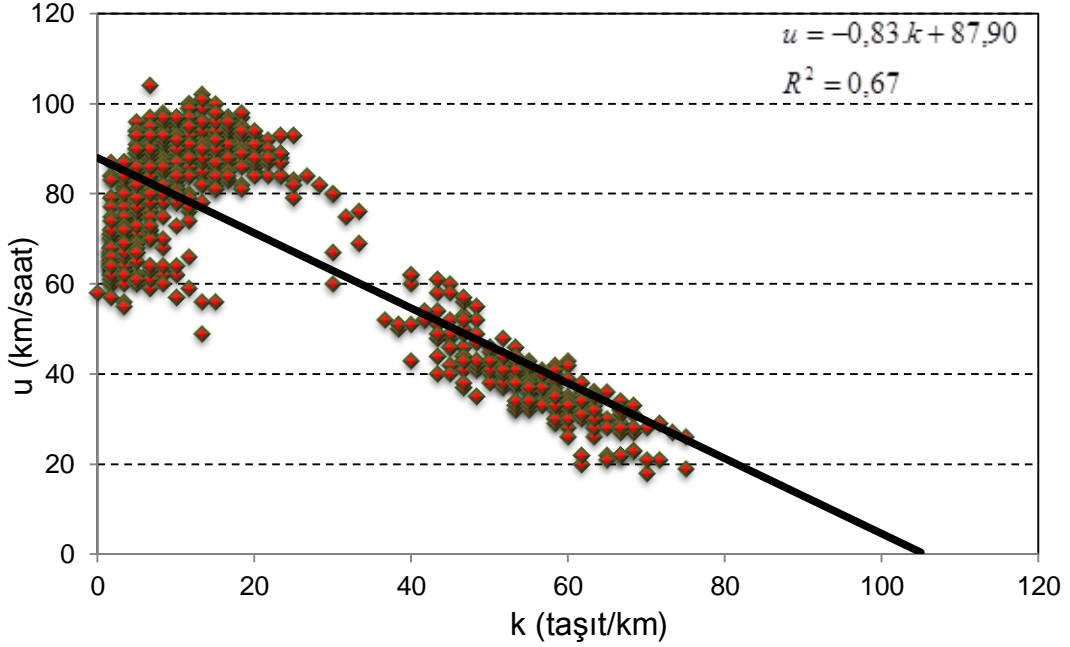
$$q = \frac{101,21 \cdot u - u^2}{0,91} \quad (3.74)$$

şeklinde bulunmuştur.

Yukarıdaki diyagramlar incelendiğinde havanın yağmurlu olduğu bir günde 329 numaralı sensörden alınan verilere göre; optimum hız değeri 51 km/saat, optimum yoğunluk değeri 55 araç/km ve buna karşılık maksimum trafik akım değerinin ise 2783 araç/saat olduğu hesaplanmıştır.

### 3.5. Hava Durumunun Karlı Olduğu Bir Günde (8 Mart 2011) Sensörlerden Alınan Veriler İçin Geliştirilen Modeller :

#### 3.5.1. 3 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki İlişkiler



Şekil 3.51. 85 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği

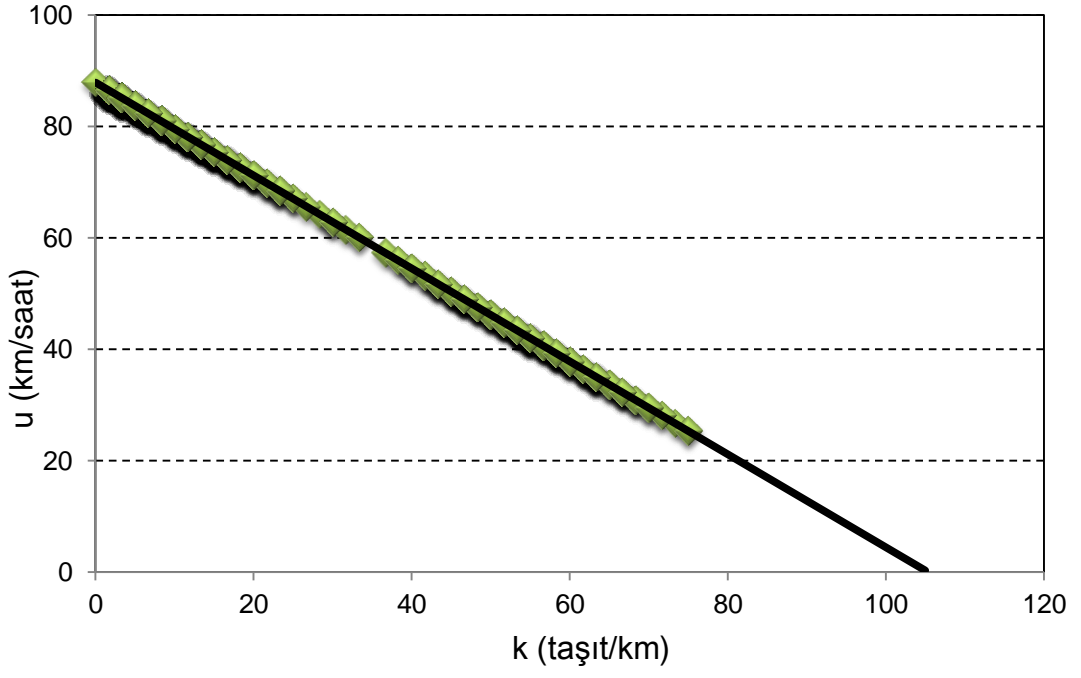
Bu bölümde yapılan hesaplamalarda ve hız, akım, yoğunluk ilişkileri için modellerin geliştirilmesi ile ilgili çalışmalarda hava durumunun açık olduğu bir gündeki işlemlere benzer hesaplamalar yapılmıştır.

| <u>q</u> | <u>u</u> | <u>k</u> | <u>O<sub>i</sub></u> |
|----------|----------|----------|----------------------|
| 674,60   | 80,95    | 8,33     | 5                    |
| 548,94   | 82,34    | 6,67     | 4                    |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |

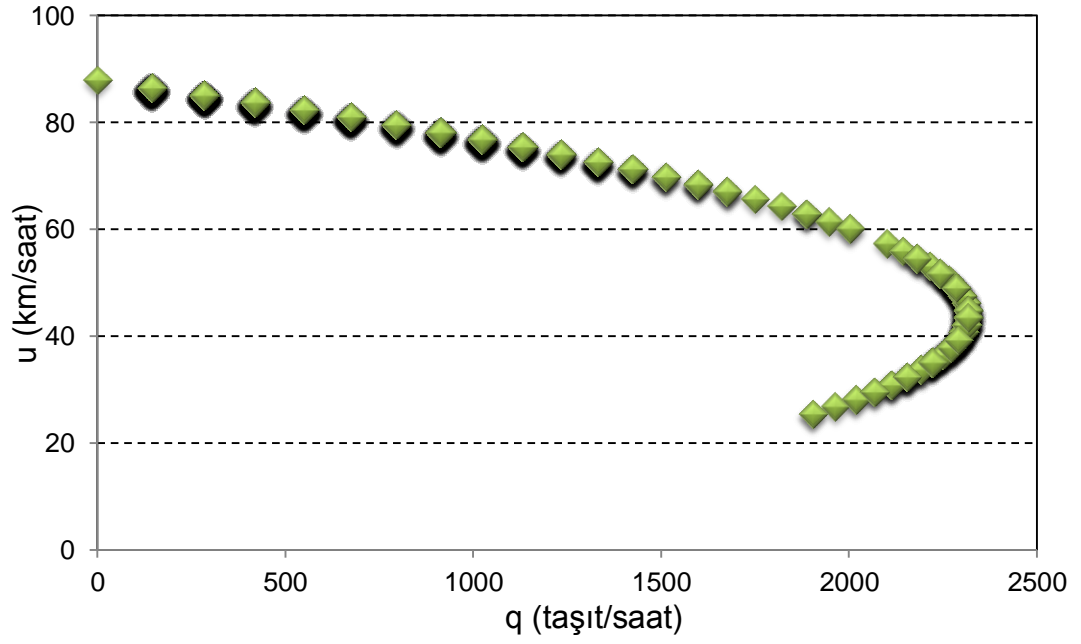
$$u = -0,83 \cdot k + 87,90 \quad (3.75)$$

$$q = -0,83 \cdot k^2 + 87,90 \cdot k \quad (3.76)$$

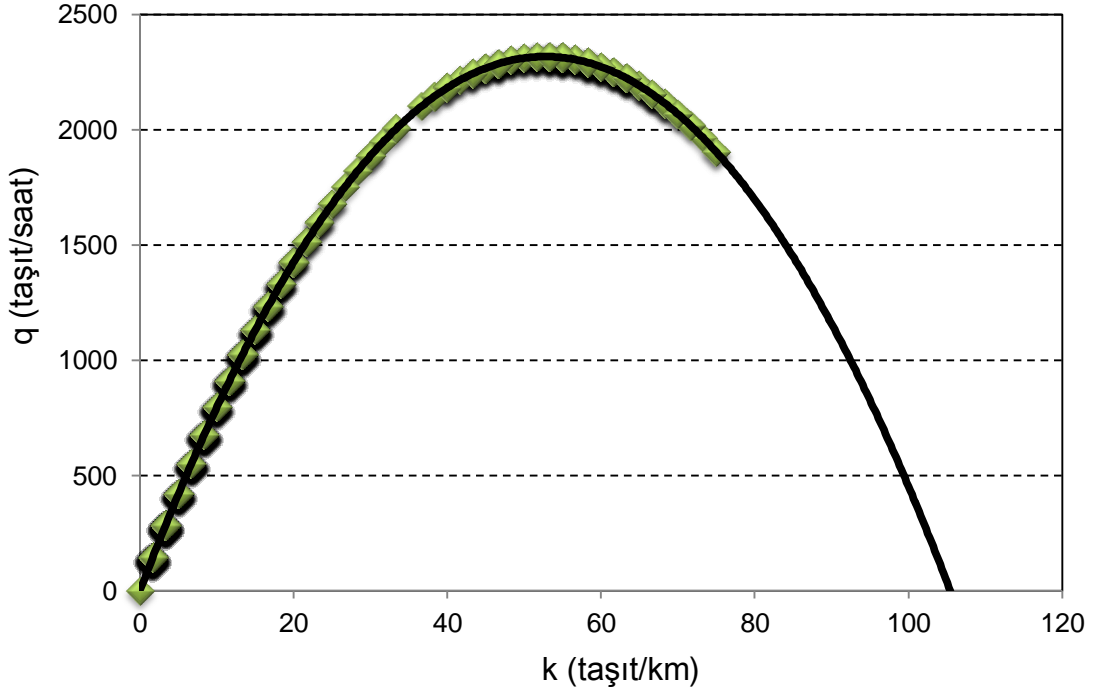
$$D = \left[ \frac{O_i \cdot 10}{(5+1)} \right] \quad (3.77)$$



**Şekil 3.52.** 3 Numaralı sensör için u-k grafiği



**Şekil 3.53.** 3 Numaralı sensör için u-q grafiği



**Şekil 3.54.** 3 Numaralı sensör için q-k grafiği

Şekil 3.51. - 3.54.'den elde edilen sonuçlara göre; doğrusal regresyon çözümlemesi sonucu hız ve yoğunluk değerleri için,

$$u = 87,90 - 0,83 \cdot k \quad (3.78)$$

denklemini elde edilmiştir. Akım-yoğunluk ve hız-akım bağıntıları ise sırasıyla,

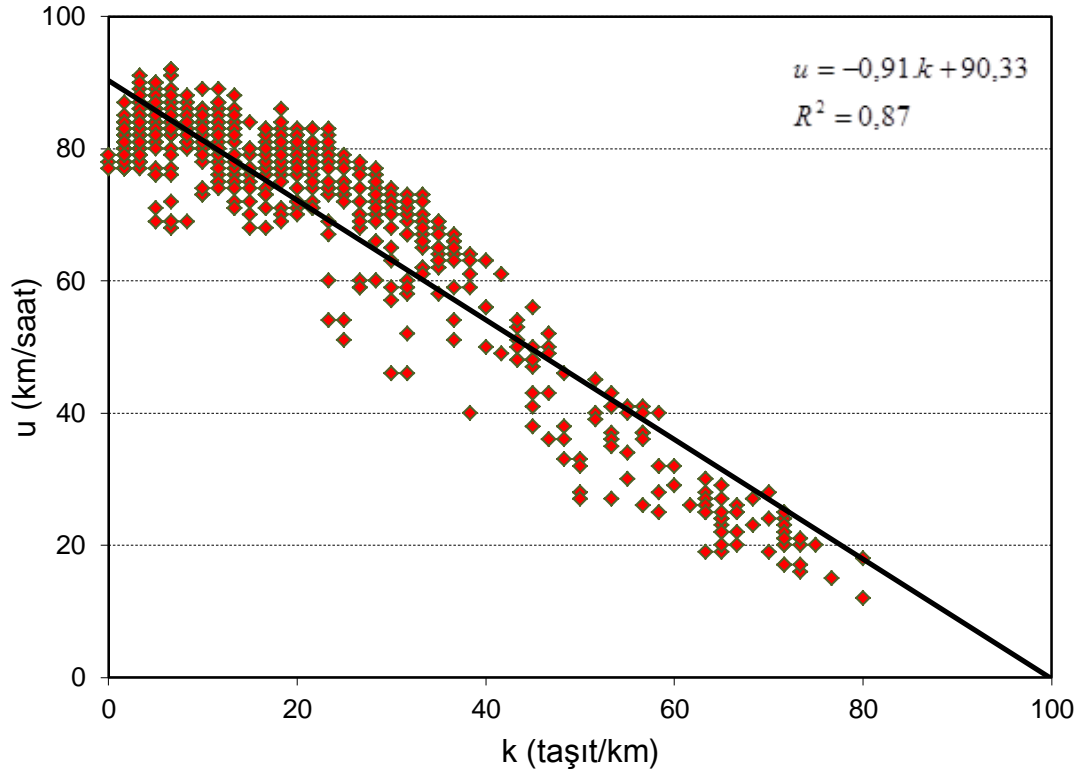
$$q = 87,90 \cdot k - 0,83 \cdot k^2 \quad (3.79)$$

$$q = \frac{87,90 \cdot u - u^2}{0,83} \quad (3.80)$$

olarak bulunmuştur.

Hava durumunun karlı olduğu bir günde 3 numaralı sensörden alınan verilere göre; optimum hız, optimum yoğunluk ve buna karşılık maksimum trafik akım değeri sırasıyla, 44 km/saat, 53 araç/km ve 2307 araç/saat olarak hesaplanmıştır.

### 3.5.2. 61 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki İlişkiler

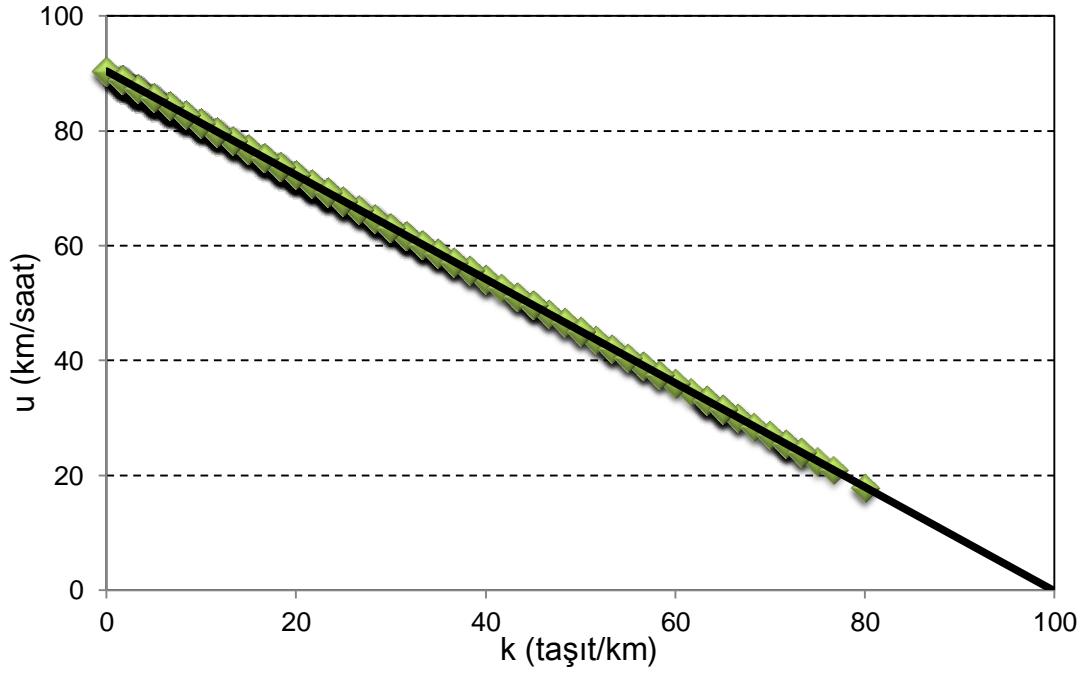


Şekil 3.55. 61 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği

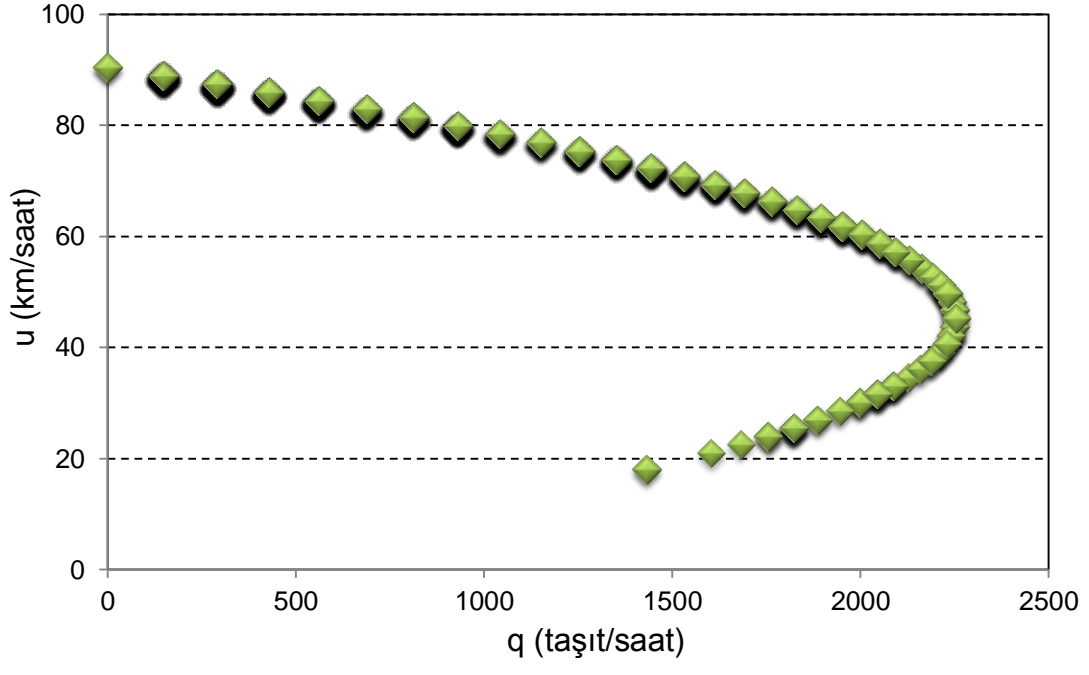
| <b>q</b> | <b>u</b> | <b>k</b> | <b>Q<sub>i</sub></b> |
|----------|----------|----------|----------------------|
| 561,98   | 84,30    | 6,67     | 4                    |
| 291,05   | 87,31    | 3,33     | 2                    |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |

$$u = -0,91 \cdot k + 90,33 \quad (3.81)$$

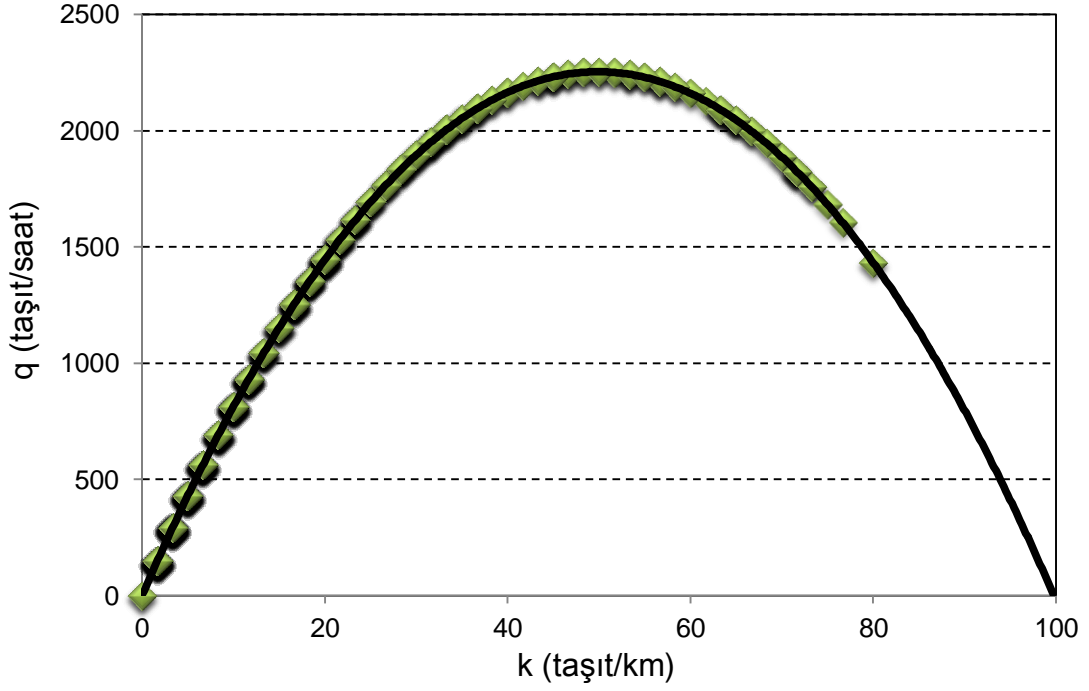
$$q = -0,91 \cdot k^2 + 90,33 \cdot k \quad (3.82)$$



Şekil 3.56. 61 Numaralı sensör için u-k grafiği



Şekil 3.57. 61 Numaralı sensör için u-q grafiği



**Şekil 3.58.** 61 Numaralı sensör için q-k grafiği

Şekil 3.55. - 3.58.'den elde edilen sonuçlara göre; doğrusal regresyon çözümlemesi sonucu hız ve yoğunluk değerleri için,

$$u = 90,33 - 0,91 \cdot k \quad (3.84)$$

denklemini elde edilmiştir. Akım-yoğunluk ve hız-akım bağıntıları ise sırasıyla,

$$q = 90,33 \cdot k - 0,91 \cdot k^2 \quad (3.85)$$

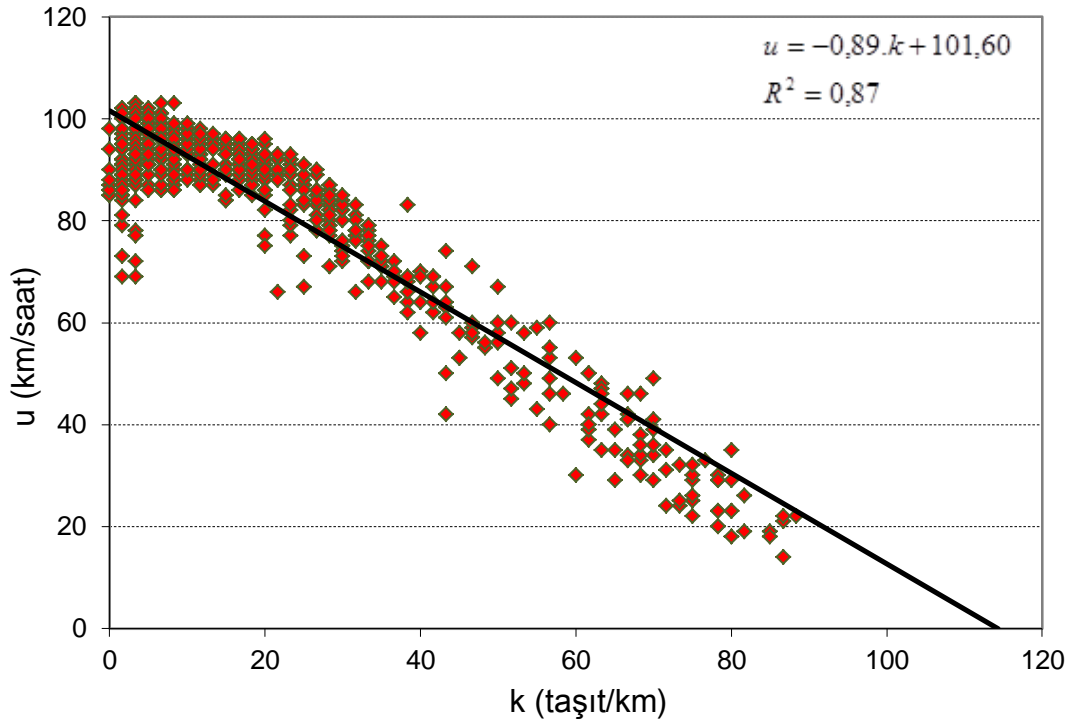
$$q = \frac{90,33 \cdot u - u^2}{0,91} \quad (3.86)$$

şeklinde bulunmuştur.

Hava durumunun karlı olduğu bir günde 61 numaralı sensörden alınan verilere göre; optimum hız değeri 45 km/saat, optimum yoğunluk değeri 50 araç/km bulunmuştur ve buna karşılık maksimum trafik akım değeri 2258 araç/saat olarak hesaplanmıştır.



### 3.5.3. 329 Numaralı Sensör İçin Hız-Akım-Yoğunluk Arasındaki İlişkiler

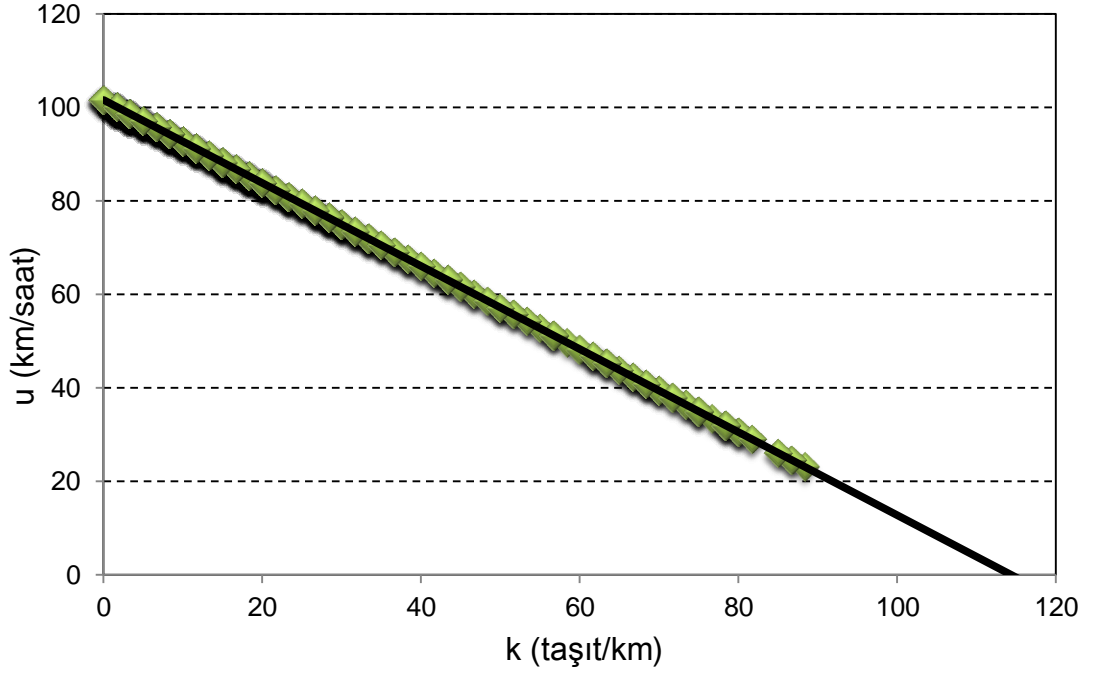


Şekil 3.59. 329 Numaralı sensörden alınan veriler için hız-yoğunluk grafiği

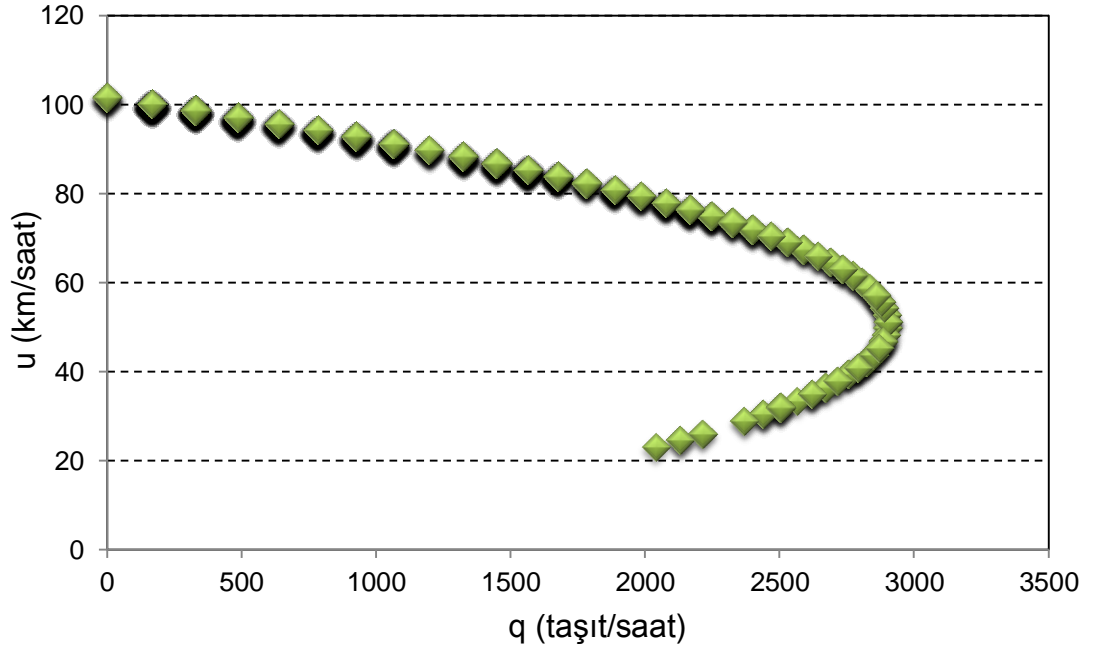
| <u>q</u> | <u>u</u> | <u>k</u> | <u>O<sub>i</sub></u> |
|----------|----------|----------|----------------------|
| 784,94   | 94,19    | 8,33     | 5                    |
| 637,83   | 95,68    | 6,67     | 4                    |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |
| ...      | ...      | ...      | ...                  |

$$u = -0,89 \cdot k + 101,60 \quad (3.87)$$

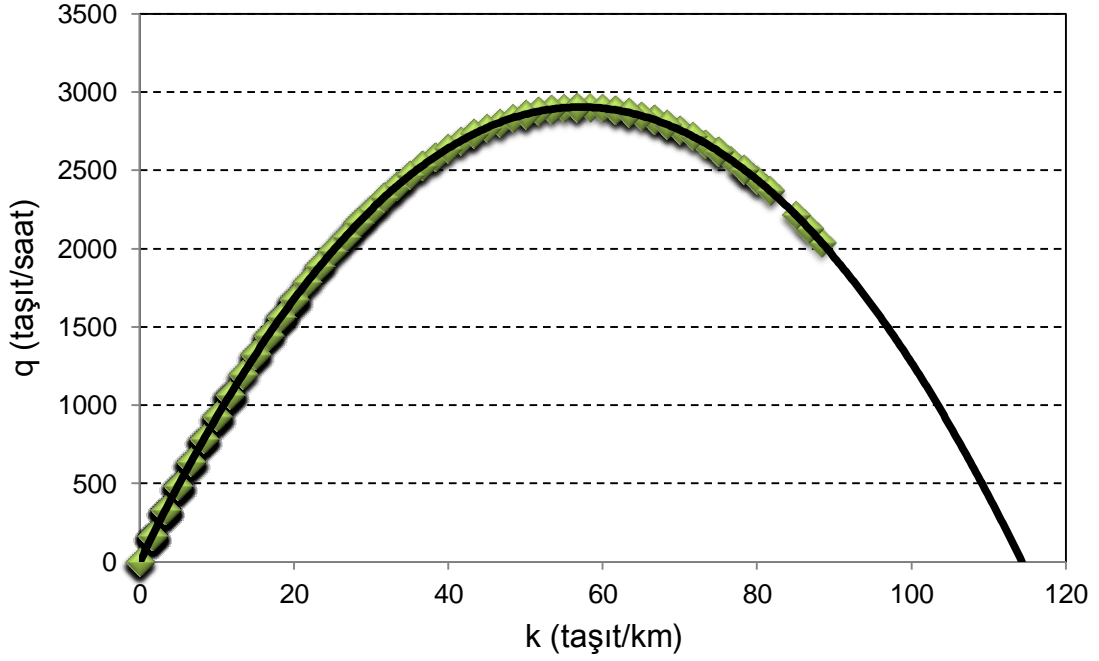
$$q = -0,89 \cdot k^2 + 101,60 \cdot k \quad (3.88)$$



**Şekil 3.60.** 329 Numaralı sensör için u-k grafiği



**Şekil 3.61.** 329 Numaralı sensör için u-q grafiği



**Şekil 3.62.** 329 Numaralı sensör için q-k grafiği

Şekil 3.59. - 3.62.'den elde edilen sonuçlara göre; doğrusal regresyon çözümlemesi sonucu hız ve yoğunluk değerleri için,

$$u = 101,60 - 0,89 \cdot k \quad (3.90)$$

denklemini elde edilmiştir. Akım-yoğunluk ve hız-akım bağıntıları ise sırasıyla,

$$q = 101,60 \cdot k - 0,89 \cdot k^2 \quad (3.91)$$

$$q = \frac{101,60 \cdot u - u^2}{0,89} \quad (3.92)$$

olarak bulunmuştur.

Yukarıdaki grafikler incelendiğinde hava durumunun karlı olduğu bir günde 329 numaralı sensörden alınan verilere göre; optimum hız, optimum yoğunluk ve buna karşılık maksimum trafik akım değerinin sırasıyla; 51 km/saat, 57 araç/km ve 2896 araç/saat olduğu hesap edilmiştir.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında; hız, akım, yoğunluk değerlerine ait teorik bilgiler verilmiş ve literatürde yaygın olarak kullanılan modeller tanıtılmıştır. Hız ve yoğunluk arasında doğrusal bir ilişki olduğu kabulü yapılarak modeller geliştirilirken literatürdeki Greenshields lineer model formundan yararlanılmıştır. İstanbul için yapılan bu çalışmada, belirlenen yol kesimleri için İstanbul Büyükşehir Belediyesi Trafik Müdürlüğünden temin edilen sensör verileri ile üç farklı hava durumu için modeller geliştirilmiştir.

Açık, yağmurlu ve karlı hava şartları için optimum noktadaki hız, akım ve yoğunluk değerleri incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Yağmurlu bir günde 61, 85, 286, 300, 305, 316, 328 ve 329 numaralı sensörlerden toplanan verilere göre; mevcut olan akımın optimum hızı 50-60 km/saat arasında değişirken buna karşılık gelen maksimum trafik akımı 2300-3350 araç/saat arasında değiştiği ve optimum araç yoğunluğunun ise 55 araç/km ortalamasında kaldığı belirlenmiştir.

Karlı bir günde 3, 61, 329 numaralı sensörlerden üretilen veriler incelendiğinde; optimum değerler için, trafik hızı ortalama 45 km/saat iken akımın ve yoğunluğun sırasıyla 2200-2900 araç/saat ve 50-60 araç/km arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Havanın açık olduğu bir günde ise 85, 300, 305 ve 533 numaralı sensörlerden elde edilen verilere göre, yolu kullanan araçların optimum yoğunluğunun ve trafik akımının sırasıyla 50-65 araç/km ile 2100-3000 araç/saat arasında değiştiği görülmüştür ayrıca karayolundaki optimum trafik hızının 50 km/saat civarında olduğu ortaya konulmuştur.

Bu çalışma esnasında farklı hava şartlarında trafik hız, akım ve yoğunluk değerleri araştırılarak birbirleri ile olan ilişkileri değerlendirilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, karlı hava şartlarındaki optimum hız değerinin en az olduğu görülmesine karşın genel olarak elde edilen büyüklüklerin birbirine yakın olduğu belirlenmiştir. Bu durumun, verilerin üretildiği radar tabanlı sensörlerin bulunduğu O-1 ve O-2 karayolu arterlerinin farklı iki kıtayı birbirine bağlayan ve seyahat edenlerin büyük bir kısmının iş, eğitim, sağlık gibi nedenlerle zorunlu olarak geçiş yaptığı boğaz köprülerine açılan çok önemli otoyollar olması, bu arterlerde yolun kapanmaması için ilgili kurumlarca sürekli çalışma yapılarak kapasitenin tam kullanılmasının sağlanması, ayrıca İstanbul ilinin ticaret merkezi olması nedeniyle ulaşım talebinin mevsimsel şartların önüne geçmesi, bunun sonucunda söz konusu yollarda seyahate olan talepte hava durumuna bağlı olarak önemli bir değişim olmaması gibi hususlara bağlı olduğu değerlendirilmiştir. Bu nedenle ileride yapılacak bir çalışmanın; ticaret şehri olan İstanbul ilindeki boğaz köprüleri yaklaşımları yerine, geçiş zorunluluğunun olmadığı bölgelerde yapılması durumunda mevsimsel şartların etkisi daha iyi görülebilecektir.

Yapılan bu çalışma sonucunda literatüre eklenecek olan trafik hız-akım-yoğunluk modellerinin; literatürün zenginleşmesini sağlayarak ulaştırma mühendisliği çalışmalarının çeşitliliği için sağlam bir temel olacağı ve böylece altyapı sorunları olan ülkemiz için yararlı olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Şahin, İ., Zorer A., Boğaziçi Köprüsü Bağlantı Yollarındaki Ardışık Katılımların Analizi ve Kapasite Kullanım Düzeyinin Araştırılması. İstanbul da Kentiçi Ulaşım Sempozyumu, Haziran 2001, İstanbul, s. 1-2, 2001.
- [2] Akin, D., Sisiopiku, V. P., Skabardonis, A., Impacts of Weather on Traffic Flow Characteristics of Urban Freeways in Istanbul. Elsevier, 16(2011): 2-4, 2011.
- [3] Xia, L., Shao, Y., Modelling of traffic flow and air pollution emission with application to Hong Kong Island. Elsevier, 20(2005): 1-4, 2004.
- [4] Gedizlioğlu, E., Şahin, İ., Akyıldız, G., Zorer, A., Uzun Otoyol Kuyruklarının İncelenmesi ve İyileştirme Stratejilerinin Araştırılması, TÜBİTAK, Proje No:İçtag-İ920, 2004.
- [5] Combinido, J. S.L., Lim, M.T., Modeling U-turn traffic flow. Elsevier, 389(2010): 5-6, 2010.
- [6] Seliaman, M.E., Duffuaa S.O., Andijani, A.A., Evaluating Traffic Stream Models For Naftah Using Simulation. VI. Suudi Arabistan Mühendislik Konferansı, Aralık 2002, Dhahran-Suudi Arabia, s. 3-4, 2002.
- [7] Bar-Gera, H., Proper Presentation of Flow-Speed-Density Plots of Large Data Sets. Journal of Transportation Engineering, 136(7): 1-2, 2010.
- [8] Li, M. Z.F., A Generic Characterization of Equilibrium Speed-Flow Curves. Transportation Science, 42(2): 2-4, 2008.

- [9] Aydın, D., İzmir Çevre Yolunun Altınyol Trafiği Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2007.
- [10] Gedizlioğu, E., Akad, M., Kentiçi Şişeboynu Kesimlerde Kapasite Kullanımı; Boğaziçi Köprüsü Örneği. <http://www.e-kutuphane.imo.org.tr> (Erişim tarihi: 19.09.2011)
- [11] Byun, J., Freeway speed-flow relationships under rain and congested conditions. Doktora Tezi, New Jersey's Science & Technology University, New Jersey, 2009.
- [12] Fank, J., Coordinated and Active Traffic Control For Freeway Corridor. Doktora Tezi, University of Wisconsin Madison, Madison, 2011.
- [13] Wang, H., Li, J., Chen, Q., Ni, D., Logistic modeling of the equilibrium speed–density relationship. Elsevier, 45(2011): 1-5, 2011.
- [14] Lu, Y., Wong, S.C., Zhang, M., Shu, C., Chen, W., Explicit construction of entropy solutions for the Lighthill–Whitham–Richards traffic flow model with a piecewise quadratic flow–density relationship. Elsevier, 42(2008): 1-2, 2007.
- [15] Erlingsson S., Jonsdottir, A.M., Thorsteinsson, T., Traffic Stream Modelling of Road Facilities. Karayolu Taşımacılığı Araştırma Konferansı, Haziran 2006, Göteborg-İsveç, s. 2-4, 2006.
- [16] Chen, D., Zhang, J., Wang, J., Wang, F., Freeway Traffic Stream Modeling Based on Principal Curves. IEEE, 1(2): 3-5, 2003.
- [17] Wang, H., Stochastic Modeling Of The Equilibrium Speed-Density Relationship. Doktora Tezi, University of Massachusetts Amherst, Amherst, 2010.

- [18] Heydecker, B.G., Addison, J.D., Analysis and modelling of traffic flow under variable speed limits. Elsevier, 19(2011): 4-7, 2010.
- [19] Hussain, H., Umar, R.S.R., Farhan, M.S.A., Establishing speed–flow–density relationships for exclusive motorcycle lanes. Transportation Planning and Technology, 34(3): 4-5, 2011.
- [20] Ardekani, S.A., Ghandehari, M., Nepal, S.M., Macroscopic Speed-Flow Models For Characterization Of Freeway And Managed Lanes. Bulletin Of The Polytechnic Institute Of Jassy, 7 (11): 3-4, 2011.
- [21] Yang, J., Highway Traffic Modeling. Doktora Tezi, The Catholic University, America, 2011.
- [22] Öğüt, K.S., An Alternative Regression Model of Speed-Occupancy Relationat the Congested Flow Level. Arı (Bulletin Of The Istanbul Technical University), 54 (2): 1-3, 2004.
- [23] Kalae, M.S., Investigating Freeway Speed-Flow Relationships for Traffic Assignment Applications. Yüksek Lisans Tezi, Portland State University, America, 2010.
- [24] Tunç, A., Trafik Mühendisliği ve Uygulamaları, Asil Yayın Dağıtım Lt. Şti., Ankara, 2003.
- [25] Traffic Flow Theory A Monograph Daniel L. Gerloughand Mathew J. Huber, Transportation Research Board National Research Council Washington, 1975
- [26] Homburger W., S., Keefer L., E., McGrath W., R., Transportation And Traffic Engineering Handbook Second Edition, 448-452. Ed: by Huber, M., J. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1982



[27] May, A.D., Traffic Flow Fundamentals. Prentice Hall Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.

[28] Roess, R.P., McShane, W.R., Prassas E.S., Traffic Engineering Second Edition. Prentice Hall Upper Saddle River, New Jersey, 1998.

[29] Roess, R.P., McShane, W.R., Prassas E.S., Traffic Engineering Fourth Edition, Pearson Education Upper Saddle River, New Jersey, 2004.