



**ULAşIM SİSTEMLERİNİN FRAKTAL
ANALİZİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ**

Rana ABİD

Doktora Tezi

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Prof. Dr. Ahmet TORTUM

2021

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ULAŞIM SİSTEMLERİNİN FRAKTAL ANALİZİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ
(Fractal Analysis of Transportation Systems: The Case of Turkey)

DOKTORA TEZİ

Rana ABİD

Danışman: Prof. Dr. Ahmet TORTUM

Erzurum
Haziran, 2021

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Rana ABID tarafından hazırlanan “Ulaşım Sistemlerinin Fraktal Analizi: Türkiye Örneği” başlıklı çalışması 06/08/2021 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ulaştırma Bilim Dalında doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Fatih SEVİM <i>Atatürk Üniversitesi</i>	ASLI ISLAK İMZALIDIR
Danışman:	Prof. Dr. Ahmet TORTUM <i>Atatürk Üniversitesi</i>	ASLI ISLAK İMZALIDIR
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Halim Ferit BAYATA <i>Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi</i>	ASLI ISLAK İMZALIDIR
Jüri Üyesi:	Dr. Öğr. Üyesi Hümeysra BOLAKAR <i>Aksaray Üniversitesi</i>	ASLI ISLAK İMZALIDIR
Jüri Üyesi:	Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ATALAY <i>Atatürk Üniversitesi</i>	ASLI ISLAK İMZALIDIR

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

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü

ASLI ISLAK İMZALIDIR

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

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Doktora Tezi olarak Prof. Dr. Ahmet TORTUM danışmanlığında sunulan “Ulaşım Sistemlerinin Fraktal Analizi: Türkiye Örneği” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	%5	30
Kuramsal Temeller	%1	30
Materyal ve Yöntem	%12	35
Bulgular	%4	20
Tartışma	%4	20
Tezin Geneli	%4	25

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

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

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Rana ABİD	Prof. Dr. Ahmet TORTUM
6.8.2021	6.8.2021
İmza: ASLI ISLAK İMZALIDIR	İmza: ASLI ISLAK İMZALIDIR

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

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

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

TEŞEKKÜR

Bu Çalışmanın yürütülmesi sırasında desteğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Ahmet TORTUM'a , çalışmamın her aşamasında yardımını esirgemeyen değerli Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ATALAY'ya şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim.

Bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan aileme ve dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Rana ABİD



ÖZET

DOKTORA TEZİ

ULAŞIM SİSTEMLERİNİN FRAKTAL ANALİZİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ

Rana ABİD

Danışman: Prof. Dr. Ahmet Tortum

Amaç: Ulaşım sistemlerinin gelişmesi, kentlerin modernleşmesinde önemli bir unsurdur. Mekânsal çalışmalar kentlerin gelişmesini analiz etmede kullanılmaktadır. Son yıllarda mekânsal çalışmalarda geometrik analizler kullanılmaktadır. Ulaşım ağlarının farklı kentler için farklı geometrik yapıya sahiptirler. Kentlerin gelişmişlik seviyesine göre, ulaşım ağının geometrik yapısıda değişmektedir. Kent ulaşım sisteminin geometrik yapısı hakkında yapılan çalışmalar az sayıdadır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de il bazında ulaşım ağlarının geometrik yapısının incelemek, geometrik yapı ile nüfus, yüzölçümü, araç sayısı, ulaşım ağı hatlarının sayısı ve ulaşım ağı hatlarının toplam uzunluğu arasındaki ilişkileri belirlemektir. Ayrıca, geometrik yapısını belirlemek için fraktal analiz yöntemleri uygulanarak her bir il için fraktal boyutları tanımlamak, hesaplamak ve karşılaştırmaktır.

Yöntem: Bu çalışma kapsamında, Türkiye’deki 81 il için hem il merkezi sınırı ulaşım ağları hem de il sınırı ulaşım ağları için beş farklı fraktal boyut belirlenmiştir. Bu fraktal boyutlar sırasıyla; kutu sayımı (Db), çevre-alan (Dp), bilgi (Di), kütle (Dm) ve cetvel (Dr) fraktal boyutlarıdır. Fraktal boyutlar ile nüfus, yüzölçümü, araç sayısı, ulaşım ağı hatlarının sayısı ve ulaşım ağı hatlarının toplam uzunluğu göstergeleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için regrasyon analizi yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, Ankara ve İstanbul şehirleri ile dünyadaki 23 mega şehirlerin ulaşım ağlarının fraktal boyutları belirlemiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır.

Bulgular: Çalışma, Türkiye’deki il merkezi sınırı ulaşım sistemleri ve il sınırı ulaşım sistemlerinin tüm fraktal boyut türleri için 1,023 ile 1,996 arasında değişen fraktal boyutlara sahip olduğunu belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçları, beş farklı fraktal boyut türünden, Db, Dp ve Di ile iller göstergeleri arasında güçlü bir korelasyon ve doğrusal ilişkiler olduğunu belirlenmiştir. İl merkezi sınırı ulaşım ağı Db, Dp ve Di fraktal boyutlar için R^2 sırasıyla 0,881, 0,839 ve 0,928 ve il sınırı ulaşım ağı Db ve Di fraktal boyutlar için R^2 sırasıyla 0,809 ve 0,939 belirlenmiştir. İl merkezi sınırı dikkate alınarak elde edilen istatistik analizi sonuçlarına göre; Db, Dp ve Di fraktal boyutlar ile ulaşım ağı hatlarının sayısı arasında en yüksek korelasyon ve nüfus göstergesi ile en düşük korelasyona sahip oldukları belirlenmiştir. İl sınırı dikkate alınarak belirlenen Db ve Di fraktal boyutları ile ulaşım ağı hatlarının sayısı arasında en yüksek korelasyon ve Dp ile ulaşım ağı hatlarının sayısı ve ulaşım ağı hatlarının toplam uzunluğu arasında en yüksek korelasyon olduğu belirlenmiştir. Db, Dp ve Di ile yüzölçümü arasında en düşük korelasyon olduğu belirlenmiştir.

Sonuç: Fraktal boyutlar içerisinde Db, Dp ve Di fraktal boyutlarının diğer fraktal boyutlara göre sistemin fraktal yapısını daha iyi tanımladığı belirlenmiştir. Özellikle Dm ve Dr fraktal boyutlarının hem il merkezi hem de il sınırı durumlarında sistemin fraktal yapısını tam olarak yansıtmadığı belirlenmiştir. Şehirler arasındaki yeni karşılaştırma yaklaşımı için fraktal boyut karşılaştırması kullanılabileceği belirlenmiştir. Ankara ve İstanbul şehirlerinin ulaşım ağının yapısına göre dünyanın en gelişmiş şehirlerine benzer oldukları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: ulaşım sistemi, fraktal boyut, Türkiye, fraktal geometrisi, şehir göstergeleri

Haziran 2021, 337 sayfa

ABSTRACT

DOCTORAL DISSERTATION

FRACTAL ANALYSIS OF TRANSPORTATION SYSTEMS: THE CASE OF TURKEY

Rana ABİD

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet TORTUM

Purpose: The development of transportation systems is an important factor in the modernization of cities. Spatial studies are used to analyze the development of cities. In recent years, geometric analysis has been used in spatial studies. Transport networks for different cities have different geometric structures. The geometric structure of the transportation network changes according to the development level of the cities. Studies on the geometric structure of the city transport system are limited. The present study aimed to investigate the geometric structure of the transportation network for Turkey's cities and determine the relationship between the geometric structure and population, area, number of vehicles, number of the transportation network's lines, and the transportation network lines' total lengths. Also, to determine the geometric structure for each city fractal analysis methods were applied to define, calculate and compare fractal dimensions.

Method: In this study, five different types of fractal dimensions for both urban transportation networks and city transportation networks were determined for 81 cities in Turkey. These fractal dimensions are; box-counting (Db), perimeter-area (Dp), information (Di), mass (Dm), and ruler (Dr) fractal dimensions. The regression analysis method was used to determine the relationship between fractal dimensions and the indicators of population, area, number of the transportation network's lines, and the transportation network lines' total lengths. Besides, the fractal dimensions of the transportation networks of Ankara and Istanbul cities were determined and compared with 23 megacities in the world.

Findings: The study shows that Turkish urban transportation systems and city transportation systems for all types of fractal dimensions have values between 1.023 and 1.996. The results of the study determine that there are strong correlation and linear relationships between fractal dimensions Db, Dp, and Di. Findings of the study have revealed that from the five different types of fractal dimensions, there are strong correlations and linear relationships between Db, Dp, and Di and urban indicators. For urban transportation network R^2 for Db, Dp and Di were 0.881, 0.839, and 0.928 respectively and for city's transportation network R^2 for Db and Di were 0.809, 0.939 respectively. Statistical analysis results show that for urban transportation networks, Db, Dp, and Di have the strongest correlations with the transportation network's number of lines and the weakest correlation with the population. while for the city's transportation networks, Db and Di have the strongest correlations with the transportation network's number of lines and Dp has the strongest correlation with the transportation network line's total lengths. Also, Db, Dp, and Di have the weakest correlations with the area.

Results: Db, Dp, and Di fractal dimensions are determined to define the fractal structure of the system better than other fractal dimensions. On the other hand, It has been determined that Dm and Dr fractal dimensions do not fully reflect the fractal structure of the system in both urban transportation networks and the city's transportation networks. The Fractal dimension comparison can be used for the new comparison approach between cities. It has been determined that Ankara and Istanbul cities are similar to the most developed cities in the world according to the structure of the transportation network.

Keywords: the transportation system, fractal dimension, Turkey, fractal geometry, city's parameters

June 2021, 337 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	xi
GİRİŞ.....	1
Amaç ve Kapsam	2
KURAMSAL TEMELLER.....	4
Fraktal Teori.....	4
Fraktal Boyut.....	6
Hausdorff Boyutu.....	7
Kutu Sayımı Boyutu (Box- Counting Dimension Db).....	8
Çevre-Alan Boyutu (Perimeter- Area Dimension Dp).....	9
Bilgi Boyutu (Information Dimension Di).....	9
Kütle Boyutu (Mass Dimension Dm)	10
Cetvel Boyutu (Ruler Dimension Dr)	10
Fraktal Analiz Yazılımları.....	10
Fraktal Özelliğe Sahip Olan Şehirler	11
Literatür Özeti	13
MATERYAL VE METOT	26
Marmara Bölgesi	26
Karadeniz Bölgesi	27
Ege Bölgesi	27
İç Anadolu Bölgesi.....	28
Doğu Anadolu Bölgesi.....	28
Akdeniz Bölgesi	29
Şekil 12. Türkiye haritasında akdeniz bölgesi (Anonim 2018).	29
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	29
Materyal	30
Ulaşım Ağı Tabakaları	30

Ulaşım Ağı Haritaları	30
Göstergeler	33
Yöntem	34
Fraktal Boyut Hesaplanması	34
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	41
Fraktal Analiz Sonuçları	41
Kutu Sayımı Boyutu (Db) Analiz Sonuçları	41
Çevre- Alan Boyutu (Dp) Analiz Sonuçları	42
Bilgi Boyutu (Di) Analiz Sonuçları	44
Kütle Boyutu (Dm) Analiz Sonuçları	45
Cetvel Boyutu (Dr) Analiz Sonuçları	47
Göstergeler ve Fraktal Boyutları Modellemesi Sonuçları	63
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	74
KAYNAKLAR	76
EKLER	79
EK 1.	79
EK 2.	101
EK 3.	106
EK 4.	110
EK 5.	142
EK 6.	174
EK 7.	206
EK 8.	238
EK 9.	270
EK 10.	320
ÖZGEÇMİŞ	324

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. von Koch eğrisinin oluşturulması için temel adımlar.	5
Şekil 2. von Koch eğrisi aşamaları.....	5
Şekil 3. von Koch eğrisinin tekrarlanması.	5
Şekil 4. von Koch eğrisinin boyutları.....	6
Şekil 5. Dört büyük şehirlerin yapısı.....	12
Şekil 6. Türkiye haritası	26
Şekil 7. Türkiye haritasında Marmara Bölgesi.....	26
Şekil 8. Türkiye haritasında Karadeniz Bölgesi.	27
Şekil 9. Türkiye haritasında Ege Bölgesi	27
Şekil 10. Türkiye haritasında İç Anadolu Bölgesi.	28
Şekil 11. Türkiye haritasında Doğu Anadolu Bölgesi.....	28
Şekil 12. Türkiye haritasında Akdeniz Bölgesi.....	29
Şekil 13. Türkiye haritasında Güneydoğu Anadolu Bölgesi.....	29
Şekil 14. Çalışma alanı.....	30
Şekil 15. Karayolları, demiryolları ve il sınırları haritası.....	31
Şekil 16. Ulaşım ağı haritası	31
Şekil 17. Erzurum il sınırı ve ulaşım ağı haritası	32
Şekil 18. Erzurum il merkezi sınırı ve ulaşım ağı haritası	32
Şekil 19. Erzurum il merkezi sınırı işlenmiş ulaşım ağı haritası.....	32
Şekil 20. Erzurum il sınırı işlenmiş ulaşım ağı haritası.....	33
Şekil 21. Erzurum il merkezi sınırı ulaşım ağının kutu boyutu tahmini	35
Şekil 22. Erzurum il merkezi sınırı ulaşım ağının çevre- alan boyut tahmini.....	36
Şekil 23. Erzurum il merkezi sınırı ulaşım ağının bilgi boyut tahmini	38
Şekil 24. Erzurum il merkezi sınırı ulaşım ağının kütle boyut tahmini	39
Şekil 25. Erzurum il merkezi sınırı ulaşım ağının cetvel boyut tahmini	40
Şekil 26. İl merkezi sınırı kutu sayımı fraktal boyutlarının dağılımı	41
Şekil 27. İl sınırı kutu sayımı fraktal boyutlarının dağılımı	42
Şekil 28. İl merkezi sınırı çevre- alan fraktal boyutlarının D_p dağılımı	43
Şekil 29. İl sınırı çevre- alan fraktal boyutlarının D_p dağılımı	43
Şekil 30. İl merkezi sınırı bilgi fraktal boyutlarının D_i dağılımı.....	44
Şekil 31. İl sınırı bilgi fraktal boyutlarının D_i dağılımı	45
Şekil 32. İl merkezi sınırı kütle fraktal boyutlarının D_m dağılımı	46
Şekil 33. İl sınırı kütle fraktal boyutlarının D_m dağılımı.....	46

Şekil 34. İl merkezi sınırı cetvel fraktal boyutlarının Dr dağılımı	47
Şekil 35. İl sınırı cetvel fraktal boyutlarının Dr dağılımı	48
Şekil 36. Ankara'nın il merkezi sınırı ulaşım ağının Db fraktal boyutu.....	49
Şekil 37. Artvin'in il merkezi sınırı ulaşım ağının Db fraktal boyutu	49
Şekil 38. Artvin'in il merkezi sınırı ulaşım ağının Dp fraktal boyutu	50
Şekil 39. Ankara'nın il merkezi sınırı ulaşım ağının Dp fraktal boyutu.....	50
Şekil 40. Ankara'nın il merkezi sınırı ulaşım ağının Di fraktal boyutu.....	51
Şekil 41. Artvin'in il merkezi sınırı ulaşım ağının Di fraktal boyutu	51
Şekil 42. İzmir'in il merkezi sınırı ulaşım ağının Dm fraktal boyutu.....	52
Şekil 43. Gümüşhane'nin il merkezi sınırı ulaşım ağının Dm fraktal	52
Şekil 44. Batman'nın il merkezi sınırı ulaşım ağının Dr fraktal boyutu	53
Şekil 45. Trabzon'nun il merkezi sınırı ulaşım ağının Dr fraktal	53
Şekil 46. İl merkezi sınırı ulaşım ağının Db –Dp fraktal boyutu doğrusal ilişkisi.....	54
Şekil 47. İl merkezi sınırı ulaşım ağının Db –Di fraktal boyutu doğrusal ilişkisi.....	55
Şekil 48. İl merkezi sınırı ulaşım ağının Db –Dm fraktal boyutu doğrusal	55
Şekil 49. İl merkezi sınırı ulaşım ağının Db –Dr fraktal boyutu doğrusal ilişkisi	56
Şekil 50. İl sınırı ulaşım ağının Db –Dp fraktal boyutu doğrusal ilişkisi.....	57
Şekil 51. İl sınırı ulaşım ağının Db –Di fraktal boyutu doğrusal ilişkisi	57
Şekil 52. İl sınırı ulaşım ağının Db –Dm fraktal boyutu doğrusal ilişkisi	58
Şekil 53. İl sınırı ulaşım ağının Db –Dr fraktal boyutu doğrusal ilişkisi	58
Şekil 54. İl merkezi sınırı ulaşım ağının Db fraktal boyutu - il sınırı ulaşım ağının Db fraktal boyutu doğrusal ilişkisi	59
Şekil 55. İl merkezi sınırı ulaşım ağının Dp fraktal boyutu - il sınırı ulaşım ağının Dp fraktal boyutu doğrusal ilişkisi	59
Şekil 56. İl merkezi sınırı ulaşım ağının Di fraktal boyutu - il sınırı ulaşım ağının Di fraktal boyutu doğrusal ilişkisi	60
Şekil 57. İl merkezi sınırı ulaşım ağının Dm fraktal boyutu - il sınırı ulaşım ağının Dm fraktal boyutu doğrusal ilişkisi	60
Şekil 58. İl merkezi sınırı ulaşım ağının Dr fraktal boyutu - il sınırı ulaşım ağının Dr fraktal boyutu doğrusal ilişkisi	61
Şekil 59. Dünyadan seçilmiş 23 şehirler	61
Şekil 60. 25 il merkezi sınırı ulaşım ağının Db, Dp, Di, Dm ve Dr fraktal boyutları	62
Şekil 61. Db ile il merkezi sınırı göstergeleri arasındaki doğrusal ilişkiler	64
Şekil 62. Dp ile il merkezi sınırı göstergeleri arasındaki doğrusal ilişkiler	65
Şekil 63. Di ile il merkezi sınırı göstergeleri arasındaki doğrusal ilişkiler	66

Şekil 64. Dm ile il merkezi sınırı göstergeleri arasındaki doğrusal ilişkiler	67
Şekil 65. Dr ile il merkezi sınırı göstergeleri arasındaki doğrusal ilişkileri.....	68
Şekil 66. Db ile il sınırı göstergeleri arasındaki doğrusal ilişkileri.....	69
Şekil 67. Dp ile il sınırı göstergeleri arasındaki doğrusal ilişkileri	70
Şekil 68. Di ile il sınırı göstergeleri arasındaki doğrusal ilişkileri.....	71
Şekil 69. Dm ile il sınırı göstergeleri arasındaki doğrusal ilişkileri.....	72
Şekil 70. Dr ile il sınırı göstergeleri arasındaki doğrusal ilişkileri.....	73



KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
D	: Fraktal boyut
Db	: Kutu Sayımı fraktal boyut (Box- Counting dimension)
Di	: Bilgi fraktal boyut (Information dimension)
Dm	: Kütle fraktal boyut (Mass dimension)
Dp	: Çevre-Alan fraktal boyut (Perimeter- Area dimension)
Dr	: Cetvel fraktal boyutu (Ruler dimension)
OSM	: Open Street Maps
R^2	: Regresyon katsayısı (Regression coefficient)
Sig	: Significance level (p-value)
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences

GİRİŞ

Gün geçtikçe şehirlerde nüfus artışı kentleşme düzeyini artırmıştır. Bundan dolayı şehirlerde yolcu ve yük hareketlilik talebini karşılamak için kent içi ulaşım konuları büyük önem taşımaktadır. Kentiçi ulaşımı, çok modlu yapısı, çok sayıda başlangıç-varış sayısı, trafik miktarı ve çeşitliliği ile oldukça karmaşıktır. Geleneksel olarak, kentiçi alanlar ticari ve kültürel faaliyetlerle bağlantılı karmaşık trafik örüntüleri ile insan etkileşimlerinin en yoğun olduğu yerlerdir. Kentiçi ulaşımında odak noktası yolcuların erişilebilirliğidir. Ancak, kentiçi alanlar üretim, tüketim ve dağıtım amaçlı yük hareketlerinde yabıdığı yerlerdir. Kavramsal olarak, kentiçi ulaşım sistemi kentin sosyo ekonomik durumu ve mekânsal yapısı ile karmaşık bir şekilde bağlantılıdır. Kentiçi ulaşımı, özellikle yolcu ve yük hareketliliğinin yüksek yoğunluklu alanlarda önemli bir boyutudur.

Ulaşımın yerel ve bölgesel alanlarda mekânsal yapı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Çağdaş ekonomik gelişmeler, hareketlilikte önemli bir artış ve daha yüksek erişilebilirlik seviyelerini beraberinde getirmektedir. Ancak bu durum kentlerde hem kapasite hem de mekânsal boyutlarda ulaşım ağlarının geliştirilmesi ile yakından ilgilidir. Ayrıca bu gelişmenin önemli boyutu kentlerdeki önemli noktalar, konumlar ve ulaşım ağlarının etkileşimine dikkat çeker. Dolayısıyla ulaşımın kentin mekânsal yapısı üzerindeki etkileri önemli hale gelmiştir.

Ulaşım sistemleri, talep, hizmet verdikleri mekânsal yapı ile kentin ulaşım ağı arasındaki karmaşık ilişkiden oluşmaktadır. Ulaşım ağları, kent sistemlerinin karmaşık yapısı hakkında bilgi verir. Bu nedenle bir kenteki yol ağını uygun şekilde karakterize ederek, onu kapsayan kent sistemi daha iyi anlaşılabilir. Bunun yanı sıra şehirler, uzun süreler boyunca değişen birbiriyle ilişkili birçok bileşenden oluşan karmaşık sistemlerdir. Özellikle ulaşım sistemleri fiziksel olarak bu değişim sürecini sergilemektedir. Dolayısıyla bir kenteki ulaşım sistemlerinin geometrisi incelenerek çok fazla bilgi toplanabilir. Literatürde yapılmış olan çalışmalar kapsam ve sayı olarak azdır. Bu çalışmalarda sadece iki fraktal boyut ele alınmıştır. Çalışma alanı olarak sadece şehir ya da tek bir ulaşım modu için yapılmıştır (Benguigui *et al.* 1999; Shen 2002; Kim *et al.* 2002; Lu and Tang 2004; Encarnação *et al.* 2012; Sreelekha *et al.* 2017); Domínguez *et al.* 2018; Prada *et al.* 2019; Benguigui 1992; Jiang, Xiao-yan and Qing-sheng 2002; Morency and Chapleau 2006; Jayasinghe and Jezaan 2014).

Bu çalışma, Türkiye’de ulaşım ağları için farklı fraktal boyutları tanımlamak, hesaplamak ve karşılaştırmak için bir yöntem sunmaktadır. Bu çalışma kapsamında incelenen kentlere ait göstergeler ve ulaşım ağı fraktal geometrisi ile ilişkili olup olmadığı incelemektedir.

Ayrıca Türkiye’deki bazı şehirler ile dünyadaki farklı şehirleri kıyaslamaktadır.

Amaç ve Kapsam

Bu araştırmanın temel amacı, Türkiye ve dünyadaki bazı şehirler için ulaşım ağına fraktal geometrisini analiz etmektedir. Tez hedefleri aşağıdaki gibidir:

1. Fraktal analizi yapmak için Benoit yazılımı kullanılacaktır.
2. Fraktal analizde Kutu Sayımı fraktal boyut (Box- Counting dimension D_b), Çevre-Alan fraktal boyut (Perimeter- Area dimension D_p), Bilgi fraktal boyut (Information dimension D_i), Kütle fraktal boyut (Mass dimension D_m) ve Cetvel fraktal boyutu (Ruler dimension D_r) olarak beş farklı fraktal boyutları belirlenecektir.
3. Türkiye’de 81 il için hem kent merkezi hem de il sınırları toplamında olarak ulaşım ağlarının fraktal analizi yapılacaktır.
4. Türkiye'deki her il için fraktal boyut ve nüfus, araç sayısı, yüzölçümü, ulaşım ağı hatlarının sayısı ve ulaşım ağı hatlarının uzunlukları göstergeleri arasındaki ilişki modellenecektir.
5. Türkiye’deki ulaşım ağlarını temsil eden fraktal boyutun hangi fraktal boyut olduğu belirlenecektir.
6. Türkiye'de ve dünyada belirlenen şehirlerin fraktal geometrilerinin karşılaştırılması yapılacaktır.

Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde çalışmanın önemi, amacı, kapsamı belirtilmiştir.

İkinci bölümde fraktal teori, fraktal boyut türleri ve hesaplama yöntemleri, Fraktal analiz yazılımı hakkında bilgi vermektedir. Ayrıca ulaşım ağı fraktal analizi araştırması kapsamında yapılan çalışmalar incelenerek literatür özetleri sunulmuştur.

Üçüncü bölümde Türkiye'nin 81 ili için ve dünyadan bu çalışma için 23 seçilmiş şehir ulaşım ağı tabakaları Open Street Map (OSM)'den indirilmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımı kullanılarak indirilen ulaşım ağı tabakaları işlenmiştir. Ayrıca şehirler için nüfus, araç sayısı, yüzölçümü, ulaşım ağı hatlarının sayısı, ulaşım ağı hatlarının toplam uzunluğu göstergeleri belirlenmiştir.

Dördüncü bölümde araştırmada elde edilen veriler kullanılarak fraktal analizi yapılmıştır. Fraktal analiz için Benoit yazılımı kullanılmıştır. Yapılan analizde beş farklı fraktal boyutu hesaplanmıştır. Bu fraktal boyutlar sırasıyla: Kutu Sayımı fraktal boyut (Box- Counting dimension D_b), Çevre-Alan fraktal boyut (Perimeter- Area dimension D_p), Bilgi fraktal boyut

(Information dimension D_i), Kütle fraktal boyut (Mass dimension D_m) ve Cetvel fraktal boyutudur (Ruler dimension D_r). Ayrıca her bir fraktal boyut ile göstergeler arasındaki iliŖki modellenmiŖtir.

BeŖinci bölümde bu alıŖmanın bulguları ve nerileri sunulmuŖtur.



KURAMSAL TEMELLER

Fraktal Teori

Fraktal, sonsuza dek, giderek küçülen boyutta (“kendi kendine benzerlik” olarak bilinen bir özellik) tekrar eden bir şablondur. Fraktal analiz, bir sistemi makrodan mikroya değerlendirir ve kantitatif mekânsal bilgi sağlar. Etrafımızdaki her şeyin, farklı açılardan bakarsak kendine özgü özellikleri vardır. Örneğin, klasik geometrik daireler, elipsler, küpler veya koniler gibi şekillere sahiptir. 17. yüzyılın ikinci yarısında Newton ve Leibniz tarafından düzgün nesneleri analiz etmek için ideal bir araç bulunmuştur. Bu araç hem matematik hem de bilimin diğer alanlarında hızla yaygınlaşmıştır. Fakat düzensiz nesnelerin analizi için herhangi bir araç geliştirilmemiştir. Aslında, birçok doğal fenomen belki de kasıtlı olarak gözardı edilmiştir. Çünkü onların düzensizlikleri ve karmaşıklıkları matematiksel olarak yönetilebilir bir biçimde tanımlanmasını zorlaştırmıştır. Düzensiz nesnelerin karmaşık geometrisini incelemek için fraktal teorisi geliştirilmiştir.

Fraktal Teori, doğal nesnelerin hem karmaşık geometrisi hem de ölçeklendirme davranışı hakkında bilgi edinmek için farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, caddeler, kentsel yollar ve yerleşim alanları gibi insan yapımı ağlar da ölçeklendirme özellikleri sergilemektedir.

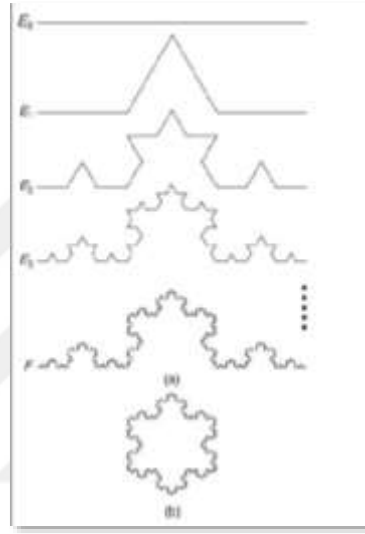
1960'ların sonlarına kadar, "Fraktal Babası" (The Father of Fractal) olarak bilinen Fransız-Amerikan bilimci Benoit Mandelbrot'un (1924-2010) çabaları sayesinde düzensiz şekillere sahip nesnelerin sistematik bir şekilde analiz edilmeye başlamıştır. Mandelbrot 1982 yılında yayınladığı Fraktal Doğanın Geometrisi adlı kitabında: “bulutların küre, dağların koni, kıyı şeridinin daire, ağaç kabuğun pürüzsüz olmadığını ve yıldırımın dümdüz bir çizgide seyahat etmediğini” belirtmiştir. Mandelbrot son derece düzensiz nesnelerin istisnai olmaktan ziyade sıradan olarak görülmesi gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca fizik, biyoloji, finans ve matematiğin karşısındaki birçok nesnenin birbirine yakın bir düzensizliğe sahip olduğunu savunmuştur. Mandelbrot, fraktal kelimesini geniş bir düzensiz nesne sınıfı için genel bir tanım olarak ortaya koymuştur (Falconer 2013).

Fraktal Teorisini anlamak için, ilk fraktal yapı von Koch eğrisi ile başlanmalıdır (Şekil 1, 2, 3).



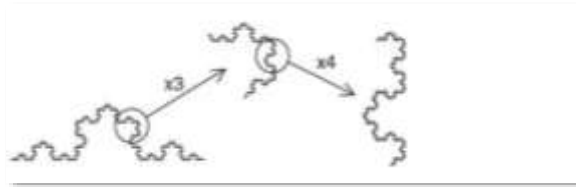
Şekil 1. von Koch eğrisinin oluşturulması için temel adımlar (Falconer 2013).

von Koch eğrisinin oluşturulması için üç temel adım vardır. Bunlar sırasıyla a) bir çizgiyi üç eşit parçaya bölünmesi, b) orta kısmın çıkarılması ve, c) eksik parçanın eşkenar üçgenin diğer iki tarafıyla değiştirilmesi (Şekil 1-a,b,c).



Şekil 2. von Koch eğrisi aşamaları (Falconer 2013).

Von Koch eğrisinin oluşturulması aşamaları $E_0, E_1, E_2, E_3, \dots, F$ olarak sıralanmaktadır. Daha sonra önceki aşamadaki üç eğrinin bir araya getirilmesi ile von Koch kar tanesi oluşturulmaktadır (Şekil 2-a,b).



Şekil 3. von Koch eğrisinin tekrarlanması (Falconer 2013).

Tekrarlanan büyümeler daha fazla düzensizlik ortaya koymaktadır (Şekil 3).

von Koch eğrisi aynı anda hem karmaşık hem de basit olabilmektedir. von Koch eğrisi aşağıdaki özelliklere sahiptir:

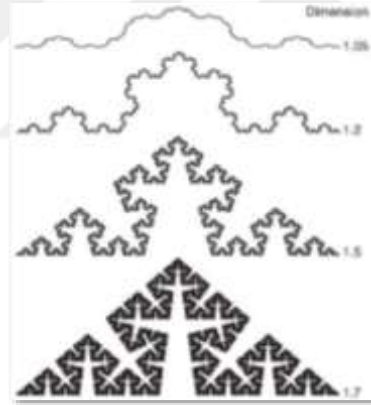
- İnce yapı —ölçek ne olursa olsun ayrıntı vardır, ancak küçüktür,
- Kendine benzerlik - bir şekilde kendisinin küçük ölçekli kopyalarından oluşmuştur,

- Klasik geometri ve matematik yöntemleri geçerli değildir,
- “Boyut”, ölççeğe bağlıdır,
- Basit bir tekrarlamalı yapıdır,
- Doğal görünümüdür (Falconer 2013).

Fraktal Boyut

Fraktal teorisi nesnenin pürüzlülük derecesi hakkında bilgi vermektedir. Bazı nesneler muhtemelen doğadan kaynaklı olarak pürüzlüdür. Bazıları ise yeterince pürüzlü değildir, bunlar muhtemelen insan yapımıdır. Nesne pürüzlülüğü derecesini belirlemek için fraktal teori uygulanarak bir boyut değeri hesaplanır. Fraktal boyut, çoklu ölçeklerde geometrik yapı hakkında bilgi veren fraktalların önemli bir özelliğidir.

Ölçek büyüdükçe veya küçüldükçe boyutun ne kadar hızlı arttığını veya azaldığını değerlendirerek mekânsal şablonun boyutlanması sağlanmalıdır. Bu nedenle fraktal boyut, boşluk doldurma verimliliğini ölçen istatistiksel bir büyüklüktür. Temel olarak, fraktal boyut, yapının boşluk doldurma etkinliği ile artmaktadır (Şekil 4) (Sreelekha *et al.* 2017).



Şekil 4. von Koch eğrisinin boyutları (Sreelekha *et al.* 2017)

Fraktal geometri, doğal ve sosyal sistemlerin uzaysal karmaşıklığını tanımlamak için nicel bir yöntemdir. Belirli alan içerisinde insan faaliyetlerinin mekânsal organizasyonu üzerine yapılan araştırmalarda özellikle önemlidir. Aslında, tüm fraktal coğrafi varlıkların boyutsal ilişkisi eşitlik (2.1)’deki gibidir:

$$L^{1/1} \propto S^{1/2} \propto V^{1/3} \propto M^{1/D} \quad (2.1)$$

Burada,

L: coğrafi bir varlığın uzunluğu,

S: alan,

V: hacim,

M :herhangi bir kütle ölçümü,

D: M'nin fraktal geometrisidir.

D'nin tam sayı olmaması durumunda öklid geometrisinden fraktal geometrinin elde edilmesi önemlidir ve özelde kent içi alandan, genelde mekânsal nesnelere sürekli değişiminin kavramını ortaya çıkarır (Lu and Tang 2004).

Fraktal nesne ve fraktal boyut kavramı, bir nesne veya nesne grubunun boşluk doldurma biçimiyle ilgilidir. Boşluğun aynı düzlemde olduğu varsayılmalıdır. Çünkü yalnızca aynı düzlemde bulunan nesneler dikkate alınır. Çizgi 1 boyut, yüzey ise 2 boyut olduğu kabul edilir.

Ancak, fraktal kabul edilen bazı nesneler normal bir çizgi gibi veya bir yüzey gibi boşluk doldurmaz. Bu durumlarda, bir fraktal boyut; $1 < D < 2$ olacak şekilde tanımlanır (Benguigui, 1994). Daha yoğun von Koch eğrisine sahip nesnenin fraktal boyutu 2'ye yakındır, diğer yandan az yoğun von Koch eğrisine sahip nesnenin fraktal boyutu 1'e yakındır (Şekil 4). Başka bir deyişle, yoğun nesneler, daha az yoğun nesnelere göre daha büyük fraktallere sahiptirler. Örneğin, ulaşım ağ sisteminde daha yüksek fraktal boyut, bu ulaşım ağının daha yoğun olduğunu göstermektedir.

Fraktal boyut için çeşitli tanımlamalar yapılmıştır ve bir çok ölçüm seçeneği sunulmuştur. Bir nesnenin fraktal boyutunu ölçmenin birden fazla yolu vardır. Bu ölçüm yöntemlerinden bazılarını bilgisayarlarda hesaplamak neredeyse imkansızdır, bazılarını ise oldukça basittir. En çok bilinen yöntemler Hausdorff boyutu, kutu sayımı, çevre alan, kural boyutu, bilgi boyutu, kütle boyutu, parçalanma boyutu olarak sıralanmaktadır. Tüm boyutsal yöntemlerin kendine özgür bir mantığı vardır. Ancak sonuçları belli bir standart sapmaya sahiptir. Fraktal boyut kavramı ile alakalı birkaç problem vardır. Bir nesnenin fraktal boyutunu, tam olarak yansıtmak veya düşük bir oranda yansıtmak mümkündür. Aynı nesne için farklı yöntemler ile farklı fraktal boyut değerleri elde edilebileceği ve aynı zamanda çok farklı özelliklere sahip olabileceğini göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Falconer'ın belirttiği gibi, fraktal boyuttaki tutarsızlık bazen ciddi karışıklığa neden olmaktadır. Hatta bazı araştırmacılar sadece nesnenin fraktal boyut değerini kullanarak nesnenin fraktal özelliğini yorumlamaktadırlar. Aynı durum bazı yazılımlarda da söylenebilmektedir (Reynoso 2005) .

Fraktal boyut analiz yöntemlerinin yaygın olarak kullanılanları aşağıda açıklanmıştır.

Hausdorff Boyutu

Bir nokta grubunda (r_1, r_2) aralığı için kendine benzerlik özelliğine sahip olan nesnelerin Hausdorff fraktal boyutu (DH) eşitlik (2.2)'e göre hesaplanır.

$$D_H = \frac{d \log(N(r))}{d \log(r)} = \text{constant for } r_1 < r < r_2 \quad (2.2)$$

Öklid nesnelerinin fraktal boyutu öklid boyutuna eşittir. Buna göre, DH değerleri; çizgiler, çizgi parçaları, daireler ve tüm standart eğriler için 1; düzlemler, diskler ve standart yüzeyler için 2; E-boyutlu uzayda öklid hacimleri için E'dir (Faloutsos and Gaede 1996).

Kutu Sayımı Boyutu (Box- Counting Dimension Db)

Kutu sayımı yöntemi, birçok farklı nesnenin fraktal boyutunu belirlemek için yaygın olarak kullanılır. Fraktal boyut araştırmalardaki uygulamalardan önce, düzensiz kartografik özelliklerin alanını hızlı bir şekilde belirlemek için kutu sayımı yöntemi kullanılmıştır. Nokta gruplarına, doğrusal özelliklere, alanlara ve hacimlere eşit etkinlikle uygulanabileceği için, kutu sayımı yöntemi nesnelerin fraktal boyutlarının belirlenmek için yaygın bir yöntemdir. Bu yöntem ızgara veya retiküler hücre sayımı yöntemi olarak da bilinir. Kutu sayımı boyutu Minkowski-Bouligond (veya "sausage") boyutuna eşdeğer olduğu belirlenmiştir. Örneğin bir doğrusal nesnenin fraktal özelliğinin belirlenmesinde kullanan temel uygulama adımları aşağıdaki gibidir:

- Nesne tek bir "kutu" ile örtülür,
- Kutu dört çeyrek bölgeye bölünür ve kullanılan hücre sayısı belirlenir,
- Takip eden her bir kadrana dört alt kadrana bölünür ve minimum kutu büyüklüğü veri çözünürlüğüne eşit oluncaya kadar devam edilir,
- Her adımda işgal edilen kadrana veya hücrelerin sayısı belirlenir.

Fraktal boyut, log-log grafiğinden kolayca elde edilir (Klinkenberg 1994) .Bu yöntemde, kutu sayısı ve ölçeklendirme faktörü arasındaki ilişki doğrusal değildir, bu nedenle hesaplamayı kolaylaştırmak için her ikisi için de logaritma çizilir ve boyut, doğrusal ilişkinin eğimi olarak bulunur. Logaritmalar, sayıların üssü ile yakından ilgilidir. Logaritma sayısı kısaca log olarak gösterilen, verilen sayının on ve katlarına yükseltilmesidir. Örneğin $\log 100 = 2$ (yani $10^2 = 100$), $\log 1000 = 3$ (yani $10^3 = 1000$). Fakat bütün sayıların üssü tam sayı olmayabilir. Örneğin $\log 2 = 0,3010$. Çoğu hesap makinesinin (log) etiketli bir logaritma anahtarı vardır, bu nedenle, örneğin (log 5) anahtar dizisi 0,6990 değerini vermektedir. Sayı büyüdükçe, logaritması büyümektedir. Böylece bir sayının karesinin logaritması sayının logaritmasının sadece iki katı olmaktadır. Benzer şekilde, bir sayının küpünün logaritması, sayının üç katıdır. Genel olarak, d'nin logaritması bir sayının üssünün logaritması d ile çarpılarak elde edilir, yani $\log a^d = d \log a$; logaritma için üs kuralı budur. Örneğin, $64 = 4^3$, $\log 64 = \log 4^3 = 3 \log 4 = 3 \times 0,6021 = 1,8063$ (Falconer 2013).

Kutu sayımı yönteminin standart olarak uygulanmasıyla ilgili birçok problem tespit edilmiştir. Yöntem, çok fazla sayıda hücrenin depolanması gerektiğinden, önemli miktarda bilgisayar belleği ve hesaplama süresi gerektirir. Kutu sayımı aynı zamanda doğru boyut üretmek için çok sayıda veri noktası gerektirir (Klinkenberg 1994).

Çevre-Alan Boyutu (Perimeter- Area Dimension Dp)

Alanların çevre çizgisinin fraktal boyutunu belirlemek için çevre-alan (P – A) ilişkisinin bulunmasıdır. Tek bir alandan ziyade, Mandelbrot tarafından önerilen bir grubun analizi, ilk önce kırılmış metal yüzeylerin 2B kesimleri ile elde edilen bir “alan” kümesine uygulanmıştır. Bu yöntem, basit bir yöntem olmasından dolayı, çok büyük bir popülerlik kazanmıştır. Çevre-alan fraktal boyutu, bir alan için eşitlik (2.3) kullanılarak belirlenmektedir.

$$P = CA^{Dp/2} \quad (2.3)$$

Burada,

P: incelenen alanın çevresi,

C: sabit

A: alan

Dp: çevre-alan fraktal boyutu

Denklemin iki bilinmeyen değeri vardır; bunlar C ve Dp değerleridir. Bu değerler birbirine benzer alanlardan ikisini birden elde edilebilir. En basit yöntem, boyutun doğrusal uyum eğiminden elde edilebileceği bir log-log grafik hazırlamaktır (eğim = Dp / 2). Bu yöntemin bir problemi, birinin bu yöntemi uygulamak için incelenen alana benzer bir alan belirlemesi gerekmektedir. Kendine benzerlik (form faktörlerinin ve fraktal boyutların sabit olduğu anlamına gelir - tüm alanlar için bilinmeyen olmasına rağmen) doğru değilse, yanlış fraktal boyutlar elde edilebilir bu durumda fraktal boyut 1-2 aralığının dışında ve hatta negatif olabilir. Çevre- alan yönteminin uygulanması özel bir çaba gerektirir. Örneğin, çalışılan bir dizi alanın kendilerine benzer alanlar içerdiğinden emin olunmalıdır (Imre 2006).

Bilgi Boyutu (Information Dimension Di)

Bu yöntem, kutu sayımı yöntemine benzer görünmektedir. Ancak, belirli bir nesneyi kapsayacak tüm kutu sayısını sayan kutu sayımı yöntemi yerine yalnızca içinde nesnelerin bulunduğu kutu sayısını dikkate alır. Bu yöntemde, kutu kenar uzunluğu (d), günlüğü ile bilgi entropisi I(d), her kutuda m_i kütlesinin toplamı logaritmalarını çizerek d farklı kenar uzunluklarıyla bilgi boyutu (Di) hesaplanır.

Nesnede bir noktayı r olasılık ile belirlenen doğrulukla belirtmek için kaç bilgi parçasının $H(r)$ gerekli olduğu belirlenir. Bilgi boyutu eşitlik (2.4) ile belirlenir.

$$DI = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{-H(r)}{\log r} = \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{H(s)}{\log s} \quad (2.4)$$

H , fraktalın Shannon Entropisidir. Eğer fraktalı r büyüklüğündeki kutulara bölersek H eşitlik (2.5)'deki gibi belirlenir.

$$H = - \sum_i P_i \log_2 P_i \quad (2.5)$$

Bir kutu belirtmek için bilgi parçaları veya eşdeğerde fraktaldaki bir noktanın konumunu bir doğruluk değeri r ile belirlemek için $P_i(i)$ kutusunun olasılık ölçüsü olur (Flacnor 2013).

Kütle Boyutu (Mass Dimension D_m)

Kütle boyutu, belirli bir yarıçap içinde bulunan alan ile bu yarıçapın (veya kutunun) boyutu arasındaki ilişkiyi tanımlar. Bu, değişik merkez noktalarının yanı sıra değişik yarıçaplar için yapılır. Kütle boyutu, yarıçapın bir fonksiyonu olarak alanın log-log grafiğinden tahmin edilebilir (Morency *et al.* 2003).

$M \sim R^D$ ile tanımlanır, burada M kütle ve R bir uzunluk ölçeğidir. Kütle boyutu, yarıçap R' nin eş merkezli küreleri içindeki tüm nesnelerin kütlesini bir log-log ölçeğinde çizerek hesaplar. Çizilen doğrunun eğimi, kütle boyutunu verir (Enright and Leitner 2005).

Cetvel Boyutu (Ruler Dimension D_r)

Bölme yöntemi birkaç şekilde uygulanabilir, temel uygulama bölme çizgisi boyunca "yürümek" ve gereken adım sayısını kaydetmektir. Bölme genişliğini sistematik olarak arttırarak ve adımlama işlemini tekrarlayarak, adım boyutu ile çizgi uzunluğu arasındaki ilişki belirlenebilir. Bu yöntemiyle ilgili temel problem geri kalanla ilgilidir. Dolayısıyla çoğu zaman tamsayı olmayan adımların çizgiyi kapsaması gerektiği gerçeğidir (Klinkenberg, 1994). Çizgi yürüyüş yöntemleri, her adım için bir temel çizginin ve bir başlangıç noktasının tanımlanma şekline göre birbirinden farklıdır. Bu yöntemler, çizgi uzunluğunu ölçerken bir unsurunun geometrik şeklini korumada genellikle zayıftır (Lu and Tang 2004).

Fraktal Analiz Yazılımları

Fraktal geometri yöntemleri, denge dışı büyüme işlemlerinin ölçeklendirme özelliklerine göre sınıflandırılmasını sağlar. Bu sınıflandırma ve bilgisayar simülasyonları, çok çeşitli karmaşık yapılara dair fikir vermektedir (Sander, 1986). Araştırmacılar tarafından fraktal

boyutun ölçülmesi için çeşitli yazılımlar bulunmaktadır. Bunlar; HarFA, Fractal Analysis System, Kindratenko's Fractal Analysis of Contour, Pierre Frankhauser's Fractalyse, Bar-Ilán's Fractal Dimension application, Paul Bourke's Fractal Dimension Calculator, TruSoft Benoit. Ayrıca, Geostat Office, Exeter GS+, SpaDiS ve diğerleri gibi bazı genel amaçlı CBS yazılımlarına gömülü fraktal boyut tesisleri de vardır (Reynoso 2005).

Herhangi bir yazılımı oluşturma amacını mevcut bir yazılımdan farklılık gösterir. Örneğin, Kindratenko's Fractal Analysis of Contour Analizi doktora araştırmasının bir parçası olarak geliştirilirken, Fractalyse yazılımı şehirlerin yerleşik alanlarının fraktal boyutunu ölçmek için araştırma ekibi tarafından geliştirilmiştir. Bu yazılım siyah beyaz eğri ve ağ görüntüsünün fraktal boyutunu hesaplamak için kullanılmaktadır.

Herhangi bir yazılımı seçmeden önce, etkili olacağından ve araştırmamızın hedeflerine uygun olduğundan emin olmalıyız. Bu araştırma için çok sayıda yazılımı ve araçları gözden geçirerek karar verilen Benoit yazılımı, fraktal boyut hesaplayıcısı olarak kullanılmıştır.

Ulaştırma ağı için fraktal boyutlarla ilgili literatür olmadığı için, herhangi bir yazılımın sonuçlarının kalitesi hakkında şu anda karar vermek doğru değildir. Ancak bu yöntemler ölçeklendirme kavramını paylaştığı için sonuçlar birbiriyle uyumlu olmalıdır. Genel olarak fraktal boyutları belirlemek için bilgisayar analizini kullanmak ve bilgisayar programlarını geliştirmekle sonuçların kalitesinin artırılması gerekmektedir. Literatür taramasından Coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) temel olarak fraktal boyut analiz sistemleri için veritabanının hazırlanmasında kullanılmaktadır.

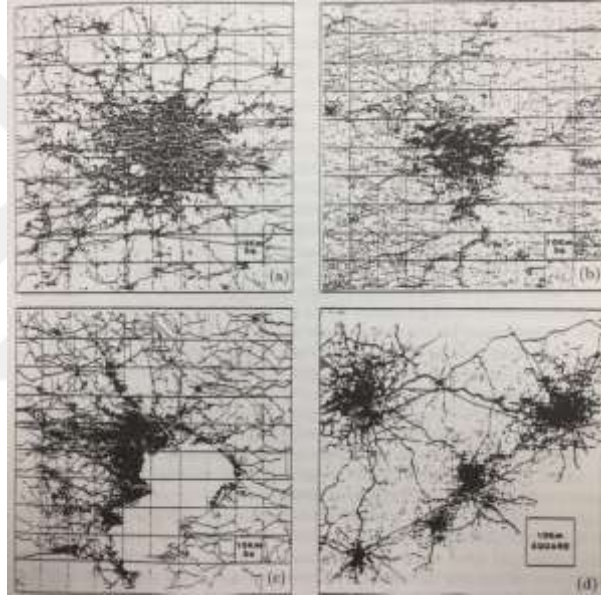
Fraktal Özelliğe Sahip Olan Şehirler

Şehirlerin kentsel özelliklerini simüle etmek, tahmin etmek ve ölçmek için daha iyi yöntemlerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Şehirlerin çeşitli yapılarına göre sınıflandırılması, şehirlerin planlanması üzerinde her zaman önemli bir etkisi olmaktadır. Şehirler genellikle öklid geometrisine sahip oldukları düşünülmektedir. Planlama sistemi, mekânsal açıdan fiziksel değişimi yönlendirmeye ve düzenlemeye dayanmaktadır. Bundan dolayı yeni yapılan şehirlerde büyümeyi kontrol etmek için değişen geometrik planlama politikası kullanılmaktadır. Geleceğe yönelik planlar genellikle büyümeyi yoğunlaştırmanın veya banliyölere yaymanın yollarına dayanmaktadır. Şehir planlama çalışmasının merkezinde bu tür endişelerin olması gerekmektedir. Bu durumda fraktal geometrinin, yeni problemleri ortaya çıkarmak için veya uzun süredir devam eden problemlere çözüm için bilgi sağlayacaktır.

Fraktal geometrinin araştırmacıların ve şehir plancılarının çalışmalarında bulunmasının başka bir nedeni vardır. Şehrin yapısını analiz etmek ve tahmin etmek için son yıllarda sofistike

teknikler geliştirilmiştir. Ancak şehrin yapısıyla ilişkileri net değildir. Bu yöntemler ile geliştirilen şehirlerdeki ekonomik ve demografik faaliyet modelleri büyük ölçüde mekânsal yapıyı soyut bir düzeyde temsil etmeye dayanmaktadır. Çünkü şehrin geometrisi kolayca yorumlanamamaktadır.

Şehirlerin yapısı birçok soyutlama düzeyinde çok farklı şekillerde görselleştirilebilir. Bu nedenle, şehrin yapısı bütün yönleri ile açık olması gerekir. Şehir gelişimi örnek olarak dünyadaki üç büyük şehri; Londra, Paris ve Tokyo (Şekil 5a, 5b ve 5c) hepsi aynı fiziksel özellikte, bir başka büyük şehir Kuzey Karolina, Greensboro bölgesinde şehirler takımı yıldızı oluşturmaktadır (Şekil 5d). Bu, şehirlerin nasıl büyüdüğünü gösterir ve aynı zamanda, dünyadaki farklı ölçeklerdeki farklı büyüklükteki şehirlerin, dört örneği karşılaştırılarak şehir yapılarının belirgin benzerliği belirlenmektedir.



Şekil 5. Dört büyük şehirlerin yapısı (Crilly *et al.* 1991).

Şekil 5'i incelerken, şehirlerin merkezden kaynaklanan gelişim geometrisini açıkça tespit etmek mümkündür. Bu geometri, merkezden veya merkez bölgesi'nden banliyölere ana ulaşım hatlarını veya diğer iletişim şekillerini takip ettikleri için dendritik (ağaç gövdesi) şekle sahiptir. Şehir merkezlerinden yayılan ulaşım altyapısının sağlanması yoluyla banliyöleri açılır. Başka bir ifade ile ulaşım sistemi şehir merkezinden geri kalan bölümlerine yayıldığı dendritlerin fraktal yapısına sahiptir. Şekil 5'teki örneklerde karşılaştırıldığından fraktal yapı görülmektedir. Ancak bu çizimlerde görülemeyen şey, kentin kendisinin, ilçelerinin ve mahallelerinin aynı ticari ve ulaşım yapısına öz benzerliğidir.

Biçim ve işlevin öz benzerliği genellikle sınırlı sayıda ölçekler üzerinde tespit edilir. Bu benzerlik, şehir yapısı açısından çok açıktır. Fiziksel ölçeklerde biçim geometrisi sokaklarda

öklid olur ve diğer fiziksel yapılar genellikle basit düz çizgi geometrisi olarak ortaya konur (Crilly *et al.* 1991).

Literatür Özeti

Birçok çalışma, ulaşım ağının kendine benzer yapılardan oluştuğunu kanıtlamıştır ve fraktal teoreminin analizi için uygun bulunmuştur. Bu nedenle, fraktal analiz yöntemi herhangi bir ulaşım ağı sistemini değerlendirmek için etkili bir araçtır. Daha önceki çalışmalarda, aynı şehir içinde veya şehirler arasında ulaşım sisteminin kendisi veya bir kısmı (demiryolu ve karayolu hatları) için analiz yapılmıştır. Ulaşım ağlarının fraktal analizleri genellikle 3 gruba ayrılmıştır. Birinci grup, fraktal boyutu hesaplayarak ulaşım sistemlerinin düzenliliğini ve kendine benzerliğini ortaya koymayı amaçlamıştır (Benguigui 1992, 1994; Jiang *et al.* 2002; Morency and Chapleau 2006). İkinci grup, birinci grubundan ziyade, ulaşım ağlarının fraktal özelliklerini ile şehir göstergelerinin (nüfus, alan, yoğunluk ... vb.) arasındaki ilişkiyi belirlemiştir (Shen 2002; Lu and Tang 2004). Üçüncü grup, kentsel büyüme ve ulaşım ağı gelişiminin fraktal özelliği üzerindeki etkisini belirli bir zamanla fraktal boyutu hesaplayarak incelemiştir (Benguigui *et al.* 1999; Encarnação *et al.* 2012).

Bu araştırmanın asıl amacı Türkiye’de 81 il için ulaşım ağı sisteminin fraktal yaklaşım ile ele alarak kapsamlı bir çalışma yapmaktır. Aşağıda, bu araştırmanın temel amaçlarını destekleyen önceki çalışmalar özetlenmiştir.

Benguigui (1992), Almanya, Moskova ve Paris'teki dört farklı demiryolu ağı için kütle fraktal boyutu belirlemiştir. Çalışmasında şebeke merkezli bir yarıçap R daresi içinde izlenen demiryolunun toplam uzunluğu L sayılarak, Log L ve Log R arasındaki ilişki çizilmiştir ve Kütle fraktal boyut belirlenmiştir. Fraktal boyutlar, Ren şehri için (Almanya'da) $1,70 \pm 0,05$, Moskova için $1,70 \pm 0,05$, Paris için $1,80 \pm 0,05$ ve Paris çevresindeki Banliyöler için $1,50 \pm 0,05$ belirlenmiştir.

Benguigui (1994), yaptığı diğer çalışmasında ise fraktal kavramının Paris şehri için demiryolu ulaşım sisteminin anlaşılmasında nasıl yardımcı olabileceğini, taşıma popülasyonundaki bir noktadan diğerine ve şehrin içindeki istasyonların dağıtımını yoluyla nasıl çalıştığını incelemiştir. Paris demiryolu ağı iki ağı (metropol ve banliyö) bölünmüştür. Önceki çalışmasında belirtilen aynı yöntemi takip ederek, metropol ağ için fraktal boyut D'nin 1,8 ve banliyö ağ için 1,5 olduğunu bulmuştur. Bu çalışmada bilgisayar simülasyonunda, uzunluğu ve açıları rastgele alıp sadece genel şekli koruyarak fraktalın rastgele versiyonu üretilmiştir. Elde edilen sonuçlar, metropol ağının tüm Paris kentine eşit şekilde hizmet ettiğini göstermiştir ama banliyö ağ metrodan daha az yoğunudur ve merkezden uzaklaştıkça daha az yoğunlaşmıştır.

Thibault and Crews (1995), fraktal geometri teorisinin uygulanması ile kentsel teknik ağların mekânsal büyümesi sorunu arasındaki bağlantıyı belirlenmişlerdir. Çalışma üç alana bölünmüştür; birinci çalışma alanı yoğunluk ile ölçülen belirli matematiksel göstergelerin mekânsal gelişimi ile ilgilidir. İkinci çalışma alanı, yerleşim alanları biçiminin temsiliyle ilgilidir. Üçüncü çalışma alanı, kentsel teknik ağlar (drenajlar ve kanalizasyonlar, caddeler ve ulaşım sistemleri) yapısı fraktal geometri kullanılarak modellenen temel ağlardır. Sonuçlara göre, drenaj, sokak ve gaz hatları gibi bazı kentsel teknik ağların yapısının, konum boyutları veya içerik boyutlarından biri ile hesaplanıp fraktal geometri kullanılarak modellenebileceğini göstermiştir. Bu yaklaşım, bir ağdaki tüm düğümlerin kümesinden belirli bir düğümden dağıtım veya ağ tarafından oluşturulan alanın şekli gibi uzamsal yönlerin dikkate alınmasını sağlamıştır. Ancak büyüme ile ilgili olarak, fraktal boyut teorisi sadece aynı sürecin tekrarlanması olarak anlaşılan endojen gelişimden kaynaklanan yapılar için geçerli olan geometrik bir teori olmadığı gösterilmiştir. Temel olarak tanımladığımız bir başlangıç yapısından başlayarak, genellikle bir yaklaştırma geliştirme süreci vardır. Yerel koşullara (kentsel alan, kırsal alan, topoğrafik koşullar, arazinin fiyatı, nüfus büyüme hızı) bağlı olmasına rağmen yapısı yine de aynı türden bir ağa benzeyebilen başka bir ağ üretilmiştir. Bazı gözlemciler, yapılar arasındaki göreceli olan çevresel benzerlik ve kentin tarihinde belirli bir anda hızlı mekânsal büyümesini fraktal geometride simülasyon modellerini bulan ağların içsel gelişim kavramını ve benzerliği formüle edebilmiştir. Ayrıca, ağ geliştirme konusuyla ilgili olarak, mevcut modellerin karar sistemlerinin karmaşıklığının neden olduğu farklı sonuçların ele alınması da tavsiye edilmiştir.

Benguigui *et al.* (1999), 1935-1991 zaman aralığında Tel Aviv'in tüm metropolünün fraktal boyutunu zamanın bir fonksiyonu olarak tahmin etmişlerdir. Çalışmada Tel Aviv üç bölgeye ayrılmıştır. Bölgelerin her biri için, $\ln N_i$ ve $\ln l_i$ miktarlarının değer serileri belirlenmiştir. Bölgelerin kutu sayımı fraktal boyutu (D) tahmin edilmiştir. Birinci bölge orta kısımdır ve Tel Aviv'e bitişik beş şehri (Givataim, Ramat Gan, Bnei Brak, Holon, Bat Yam) içermektedir. Bu şehirlerin ortak özelliği, ekonomik faaliyet açısından bakıldığında her zaman kent merkezi olmalarıdır. Metropoldeki diğer şehirlerin çoğunluğu ise tarımsal yerleşim merkezidir. İkinci bölge, bütün metropolün orta kısmını ve kuzeydoğu kısmını içermektedir. Bu bölgedeki inşaat alanı güneyden daha gelişmiş görüldüğü için görsel olarak seçilmiştir. Üçüncü bölge tüm metropoldür. Sonuçlar, her bir zaman aralığı için birinci bölgenin artan D ile fraktal olduğunu göstermiştir. 1991'deki D değeri, Paris ve Londra gibi diğer büyük şehirlerine benzerdir. Ayrıca 1971 ve 1978 yılları arasında ve belirgin bir fark olmamasına rağmen hızlı bir artış göstermiştir. İkinci bölge tüm çalışma süresi boyunca fraktaldır. Bununla birlikte, D değerleri birinci bölgenin D değerlerinden çok daha küçüktür. D' deki hızlı artış, bu yerleşim yerlerinin yoğun nüfus artışı yaşadığı bir dönem olan 1941 ve 1952 yılları arasında

açıkça görülmüştür. Üçüncü bölge (metropolün tümü) için durum farklıdır ve Tel Aviv metropolünün sadece 1985'ten sonra fraktal olduğu sonucuna varılmıştır.

Shen (2002), Amerika'da yirmi büyük şehir için kentsel ve çevreleyen alanların kutu sayımı fraktal boyutları hesaplanmıştır. Ayrıca, hesaplanan fraktal boyutlar ile kentsel alanlarının göstergeleri; şehrin toplam alanı (C) ve nüfusu (POP) arasındaki ilişki belirlenmiştir. 1792-1992 yılları arasında Baltimore şehri için kentsel yüzölçümü ve nüfus artışı fraktal boyutları hesaplanmış ve fraktal boyutlar ile kentsel yüzölçüm ve nüfus artışı arasındaki ilişki belirlenmiştir. Sonuçlar, kutu sayımı fraktal boyutunun (D) değerleri 1 ile 2 aralığında olduğunu göstermiştir. En büyük şehir olan New York ve en küçük şehir olan Omaha'nın D değerleri sırasıyla 1,7014 ve 1,2778 olduğu belirlenmiştir. Yirmi şehir için D - Log C ve D - Log POP arasındaki regresyon katsayısı (R^2) değerleri sırasıyla 0,8761 ve 0,6404 olduğu belirlenmiştir. Baltimore şehrinin D değerleri 1792-1992 yılları arasında 0,6641'den 1,7211'e artmıştır. Ayrıca, Baltimore şehri için D-Log C ve D-Log POP arasındaki R^2 değerleri sırasıyla 0,9672 ve 0,859 olduğu belirlenmiştir. Şehirler aynı D boyutlarına veya Log C değerine ve farklı nüfusa sahip olabilirler. Bu durum tek başına fraktal boyut, kentleşmiş alanların toplamının uygun bir göstergesi olabileceğini ancak kentsel nüfus yoğunluğunun iyi bir ölçüsü olmadığını göstermiştir.

Jiang *et al.* (2002), yaptıkları çalışmada Çin'deki üç şehir için CBS yazılımı kullanılarak kentsel trafik ağı yapısının kütle fraktal boyutu hesaplanarak fraktal özelliklerini incelemişlerdir. Şangay, Wuhan ve Lanzhou şehirlerinin kütle fraktal analiz yöntemi kullanılarak trafik ağının yoğunluğu ve trafik ağının bağlantısı belirlenmiştir. Sonuçlar, Şangay mekânsal yapısının en karmaşık ağ olduğunu, Wuhan şehrinin, Lanzhou'nun mekânsal yapısının ise en basit ağ olduğunu göstermiştir. Kütle fraktal boyutları sırasıyla 1,63, 1,47 ve 1,26 belirlenmiştir. Ayrıca, kütle analiz yönteminin uygulanması sadece kentsel olarak sınırlı değildir aksine kentsel arazi kullanım dağılımının araştırılması, şehir merkezinin daire çevre uzunluğu, kentsel alanda ticaret ve kamu hizmetinin yerleşim özelliği gibi diğer yönlerden daha yüksek referans değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu yöntem farklı şehirlerdeki fraktal boyutlarını hesaplamak, yapısal özelliklerini karşılaştırmak ve analiz etmek için kullanılmıştır.

Kim *et al.* (2002), Seul şehrinin toplu taşıma (metro ve demiryolu hatları) sistemi için fraktal geometrisini incelemişlerdir. Kutu sayımı yöntemini kullanarak Fraktal boyutu (D), metro ray hatları ve istasyonlar için belirlenmiştir. şehir için kutu sayımı fraktal boyutları sırasıyla 1,4 ile 1,6 arasında belirlenmiştir. Ayrıca Seul'daki metro sistemi büyük ölçüde kentleşmiş bir alana uyarlanmıştır. Bu nedenle kentsel mekânsal örüntüleri önemli ölçüde

etkilememiştir. Raylı sistemin D büyüklüğü ise kentleşme sürecini biçimlendirmekte ve bu nedenle zamanla artmış olduğu belirlenmiştir .

Cooper (2003), bir dizi sokak seviyesindeki kentsel düzensizlik için cetvel fraktal boyutunu (D_r) hesaplamak için Benoit 1.0 yazılımını kullanmıştır. Sonuçlar, bireysel D_r değerlerinin 1,0245 ile 1,3377 arasında değiştiğini göstermiştir. Ortalama D_r 1,1547, varyans 0,0036 ve standart sapma 0,0830 olarak belirlenmiştir. Bu çalışma, fraktal düzensizlik incelenmesinin başlangıç noktası olarak kent yapısı ve kent planlamasındaki fraktal analizin kullanılabileceğini bilerlemiştir.

Lu and Tang (2004), Dallas-Forth Worth (Teksas) metropolu ve çevresindeki bölgeler: Collin, Dallas, Denton, Ellis, Hood, Johnson, Kaufman, Parker, Rockwall, Tarrant, ve Wise şehirleri için fraktal özelliklerini incelemiştir. Önceki bölgelerden doksan beş yer nüfusa göre seçilmiştir. Bu yerler için yol ağ sistemlerinin kutu sayımı fraktal boyutları hesaplanmıştır. Ayrıca, yol ağ sistemlerinin fraktal boyutları konut sayısı, nüfus sayısı, nüfus yoğunluğu ve konut yoğunluğu ile arasındaki ilişkiyi belirlenmiştir. Sonuçlar, Doksan beş yer için kutu sayımı fraktal boyutlarının D değerleri 1'den küçük ve 1 ile 1,745 arasında değiştiği belirlenmiştir. $D - \ln$ nüfus, $D - \ln$ konut sayısı, $D - \ln$ nüfus yoğunluğu ve $D - \ln$ konut yoğunluğu arasındaki R^2 değerlerinin sırasıyla 0,7158; 0,7019; 0,0676 ve 0,0464 olduğu belirlenmiştir. Şehir büyüklüğünün, şehir yoğunluğundan daha çok yol fraktalına bağlı olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, şehir büyüklüğü mutlak ölçümleri, şehir yoğunluğu ölçümlerinden daha çok kentsel ulaşım ağının gelişimi ile ilişkilidir. Yani, bir şehrin sosyal ve ekonomik büyüklüğünden çok daha fazla yol inşa etme talebinin bu şehirdeki faaliyetlerin yoğunluğuna bağlıdır. Kentlerin küçükten büyüğe doğru büyüdüğü; ulaşım ağlarının genellikle daha karmaşık hale geldiğini ve kentsel alanların şehir yollarıyla daha yoğun bir şekilde doldurulduğunu ve şehir içindeki yerlerin daha erişilebilir olduğu görülmüştür. Kentsel ulaşım ağının karmaşıklığı ile kent büyüklüğü arasında belirlenen kantitatif ilişki, kentsel gelişim ve yol ağının planlanması ve önlem oluşturmak için ampirik bir rehber olduğu belirlenmiştir.

Cooper (2005), İngiltere'nin Oxford kentini için Benoit 1.3'ü kullanarak cetvel fraktal boyutu (D_r)'yi hesaplamıştır. D_r ile sokak yaşı ve türü arasındaki ilişkiyi belirlemiştir. Ayrıca, ortalama D_r ile fiziksel özellikler (ortalama bina boyutu ve sokak kenarlarındaki boşluk sayısı) arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Çalışmada cadde kenarı, caddeyi çevreleyen binaların oluşturduğu çizgi olarak tanımlanır. Çalışma kapsamında, 25 cadde kenarını temsil eden toplam 50 sokak incelenmiştir (cadde başına 2 sokak). Sonuçlar, kentsel cadde kenarlarının D_r 'sinin 1,0 ile 1,36 arasında değiştiğini göstermiştir. Argyle Caddesi'nin güneybatı tarafı (düz bir cadde kenarı gösteren) en küçük D_r değeri 1,0000 iken, Davnant Yolu'nun kuzey kenarı en büyük D_r

değeri 1,3635'tir. Bu durumlarda standart sapma aralığı küçük olduğundan Dr'nin tüm durumlarda fraktal boyutun ana göstergesi olarak kullanılır. Dr ile cadde kenarı arasında belirgin bir ilişki olmadığı, ancak sokak türü ile Dr arasında bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Ağırlıklı olarak müstakil yapıların yoğun olduğu caddeler, daha yüksek binaların yoğun olduğu caddelere göre daha yüksek fraktal boyutlara sahiptir. Bina boyutu ve Dr değerleri arasında negatif bir korelasyon gözlenmiştir. Yani, ortalama bina boyutu yükseldikçe fraktal boyutun düştüğünü ve bina boyutunun düzenliliği veya homojenliği arttıkça fraktal boyutun düştüğünü göstermiştir. Boşlukların sayısı ve Dr arasında pozitif bir korelasyon gözlenmiştir. Yani, boşlukların sayısı (cadde boyunca ayrılma seviyesinin bir göstergesi olarak) arttıkça fraktal boyutun da arttığını göstermiştir.

Imre (2006), kendine benzer bir nesne için çevre-alan (P-A) yönteminin hatalı fraktal boyut verebileceğini göstermiştir. Hata, yamaların dijitalleşmesi ve farklı yönelimlerine bağlı olarak ortaya çıkmıştır. Bu hata, bu yöntemin uygulanabilirliğini tamamen sorgulanabilir hale getirecek kadar büyüktür. Araştırma sonuçlarına göre, bu yöntemin uygulanması tavsiye edilmemiştir çünkü:

- P-A fraktal boyutu 1 ile 2 arasında olduğunu belirlenmiştir, ancak gerçekçi olmayan sonuçların ($0,93 < 1$ gibi) elde edilebileceği belirlenmiştir.
- Gerçek P-A fraktal boyutu (kareler için 1'dir) yaklaşık $\pm 0,08$ hata ile geri verilmiştir.
- Dijitalleştirme, 2D'ye gömülü nesnelerin çevresini ve alanını değiştirebildiği belirlenmiştir. Değişiklik büyük ölçüde oryantasyona bağlıdır; kesinlikle benzer nesneler, 45°'lik bir dönüşten sonra çok farklı dijital çevre ve alana sahip olduğu belirlenmiştir.
- Kendine benzeyen nesnelerin P-A fraktal boyutunu belirlemek için P-A ilişkisinin uygulanması, dijital görüntülere ihtiyaç duyabilmiştir.
- Orijinal çevre ve alanlardaki değişiklik nedeniyle, P – A yöntemi yapay fraktal boyut verebilmiştir. Ayrıca tüm P-A fraktal boyutunun ilgili aralığının dışında büyük hatalara neden olmuştur.

Morency and Chapleau (2006), Büyük Montreal Bölgesi'nde (GMA) hem kentsel alan hem de ulaşım ağı için uygulanan fraktal geometriyi belirlemişlerdir. Kentsel alanların fraktal boyutunu tahmin etmek için iki yöntem kullanılmıştır: Harfa yazılımında uygulanan kutu sayımı yöntemi ve bir CBS yazılımında hesaplanan kütle yöntemi. Kütle boyutu iki noktaya göre hesaplanmıştır. Birincisi büyüyen bir yarıçap içindeki nokta (1 ila 62 km), ikincisi genellikle kent merkezi iş bölgesinin nüfus dağılımı veya taşıma payıdır. Ayrıca, 1940 ve 1996

yılları arasında inşa edilen konut sayısının kutu sayımı fraktal boyutu hesaplanmıştır. Tamamen ve kısmen doldurulmuş kutular dikkate alındığında elde edilen kutu sayımı boyutu 1,8583 iken, kütle merkezinden hesaplanan kütle boyutu 1,8493 ve merkezi iş bölgesi için 1,795 olduğunu belirlenmiştir. Taşıma ağı tarafından kaplanan yüzeyin fraktal boyutunu tahmin etmek için de benzer bir yaklaşım kullanılmıştır. Hem tamamen hem de kısmen doldurulmuş kutular dikkate alındığında elde edilen kutu sayımı boyutu 1,7392 iken, kütle merkezinden hesaplanan kütle boyutu 1,5012 ve merkezi iş bölgesi için 1,453 olduğunu belirlenmiştir. Konut inşaatının kutu sayımı fraktal boyutu, 1945-1996 yıllarından birikmiş konut inşaatında artışla birlikte değerinde arttığını göstermiştir.

Gallos *et al.* (2007), karmaşık ağların kendi kendine benzerliğini ortaya çıkarmak için kutu sayımı yöntemini kullanarak Hausdorff boyutunun uygun tanımını uygulamışlardır. Bir ağın fraktal boyutunu ölçmek için küme büyüme tekniği kullanılır. Rastgele düğümler ve belirli bir mesafe içinde bir küme büyüme seçildiğinde, bu kutulardaki kütlelerin dağılımı bu mesafeyle orantılı olarak büyür ve tüm bu ağlarda fraktal olmadığını gösterir. Ancak, küme büyümesi esas olarak küçük dünya karakterinden etkilenir, böylece merkez olarak adlandırılan yüksek derecede bağlı düğümler birçok kez karşılaşır ve kutuların çoğunda aynı merkez ortaya çıkar ve böylece sonuçlara ağırlık atanır. Sonuçlar birçok ağın görünüşte küçük dünya yapılarının aksine fraktal bir davranış sergilediğini göstermiştir. Ayrıca, fraktal olmayan ağların uzunluk ölçeğinin yeniden normalleşmesi altında kendi kendine benzer bir tablo sunduğu gösterilmiştir. Bu sonuçların, bu tür sistemlerin evrimi ve davranışlarını anlamamızda önemli bir etkisi vardır. Geleneksel fraktal teoriye benzer şekilde çok sayıda ağ özelliği bir dizi basit ölçeklendirme üsleri aracılığıyla açıklanabilmesini mümkündür.

Cooper and Oskrochi (2008), Oxford şehrinde Benoit 1.3 yazılımı kullanılarak yirmi altı sokak manzarası için hem fraktal hem de algılanan görsel çeşitlilik düzeyleri açısından kutu sayımı fraktal boyutunu D_b hesaplamışlardır. Ayrıca, yirmi altı adet her birinden rastgele olarak alınan on fotoğrafik görüntü için bir dizi günlük sokak manzarasında fraktal boyut ile algılanan görsel çeşitlilik arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Seçilen yerleşim sokakları, toplam 260 görüntü vermiştir. Sonuçlar, görüntülerdeki en düşük fraktal boyut 1,434'tür ,daha yüksek fraktal boyut 1,603'tür ve en yüksek fraktal boyut 1,795'tir. Ayrıca, tüm görüntüler için sonuçlar D_b 'nin 1 ile 2 arasında olduğunu göstermiştir.

Avineri (2010), trafik ağlarının modellenmesinde fraktal analizi yöntemi kullanılmasını araştırmıştır. Sayısal bir örnekle, fraktal teorisinin trafik ağlarının performansının analiziyle ilgisi gösterilmiştir. Sonuç olarak, bir trafik ağı fraktal bir sistem olarak tanımlanabilir. Ayrıca, ölçekler arasında kendi kendine benzerlik ve simetri ile karakterize edilebileceği belirtilmiştir.

Fraktal trafik sistemlerinin araştırılması için kavramsal ve metodolojik konular tanımlanmıştır. Trafik sistemleri geniş ve fraktal özellikte bir ağa sahip olabilir, bazı bölümleri planlanmamış veya tasarlanmamış olabilir. Ulaşım plancıları bu durumda ilave kapasitenin takip edilmeyeceği durumları belirlemek için trafik ağının fraktal özelliklerini kullanmışlardır. Trafik ağlarının tanımında fraktal özellik terimlerinin kullanılması, daha geniş bir modelleme çerçevesinin yapısal temelini oluşturmuştur. Trafik ağının fraktal özellik modellemesi, karayolu ağının küçük parçalarının temsilini sağlamıştır. Bu durum modellerin kısıtlı bilgi veya kaynaklar nedeniyle tam olarak temsil edilemediğini ortaya çıkarmıştır. Ulaşım ağı fraktal analizinde kullanılan mekânsal ayrıntı seviyesi (yani bölge tarafı ve ağ detayı), ulaştırma sistemindeki değişikliklere ilişkin sonuçların doğruluğunu etkileyen önemli bir faktör olduğu belirtilmiştir. Fraktal özelliklerin trafik akım modellemesine dahil edilmesi için, yol ağlarının trafik akım karmaşıklığının daha fazla ampirik ve teorik olarak incelenmesi gereklidir. Bu çalışmada sunulan örnek oldukça basittir ve gerçek trafik ağlarının bağlantı boyutlarını ele almamıştır. Sunulan yaklaşım herhangi bir karmaşık trafik ağının sistematik bir fraktal analizini geliştirmiştir.

Zhang (2010), yol ağlarının genel ilkelerini araştırmaya çalışmıştır. Bu çalışmada, karayolu ağlarının yapısal özellikleri hakkında ve çeşitli yönlerde (ölçeksiz, karışım düzenleri, küçük dünya, hiyerarşi) ve yapısal fraktal özelliklerin sosyal-ekonomik gelişme ile ilişkilerini araştırmayı amaçlamıştır. Bunun için fraktal ağ analizi uygulanmıştır. Dört farklı yapısal analiz gerçekleştirilmiştir sırasıyla ölçeksiz, karıştırma modeli, küçük dünya, hiyerarşik ve yapısal fraktaldır. Yöntemlerin uygulamaları için trafik akışı, nüfus ve konut birimleri dahil olmak üzere sosyo-ekonomik veriler elde edilmiştir. Sonuçlar, yol ağlarının fraktal boyutları 2,94 ile 4,90 arasında değişen yapısal fraktal olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, yol ağının yapısının ne kadar karmaşık ise, bölgenin o kadar gelişmiş olacağını göstermiştir.

Encarnação *et al.* (2012) özellikle büyükşehir ölçeğinde şehir planlaması bağlamında kullanılabilecek yeni bir araç geliştirmek için kentsel alanların heterojen fraktal özelliklerini araştırmışlardır. Lizbon Metropolitan Alanının (MAL) mekânsal-zamansal yerleşimi (Kuzey tarafı, 1960 ve 2004 yılları arasında), MAL'nin tamamının yerleşik alanları (1960, 1990 ve 2004'e karşılık gelen her bir anlık görüntü için) pikselleştirilmiştir ve daha sonra 1 km²'lik bir kare kutu matrisinde düzenlenmiştir. Her kutunun fraktal boyutu (D) kutu sayımı yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, MAL'nin, ulaşım alt yapıları (karayolları ve demiryolları) ile birbirine bağlı olan Lizbon banliyö alanlarının büyümesi nedeniyle zamanla giderek daha kompakt hale geldiğini göstermiştir. Mekânsal-zamansal fraktal analizi ayrıca her bir kutunun fraktal boyutu ile toplam dolgu alanı arasındaki önemsiz bir ilişki de ortaya

çıkamıştır. Böylece, (D) 'nin logaritması olarak mikrokanonik entropi (S), belirli bir fraktal boyutla uyumlu olası konfigürasyonların sayısını ölçmek için tanıtılmıştır. D'ye karşı S çizimi ile bu eğrilerin davranışı beş tip sınıf oluşturmuştur. Tip 1 ($D \leq 1$) kutuları için, yerleşim alanları tanım gereği izole edilir (arazi kullanımının ağırlıklı olarak tarım veya orman için olduğu yerlerde). Tip 2 ($1 < D \leq 1,26$), fraktal boyut hala düşüktür ve dağınık inşa alanlarından karayolları veya demiryolları boyunca kentsel bir çapa doğru geçişi karakterize eder: dağınık alanlar, bazen küçük köyleri çeker. Tip 3 ($1,26 < D \leq 1,54$) ve tip 4 ($1,54 < D \leq 1,78$) bölgeleri, yerleşim alanını artırma fırsatlarının sadece uygun değil, aynı zamanda bölgelere alan eklemenin birçok farklı yolu vardır. Ancak, farkları, Tip 3 kutularında D ile artan ve Tip 4 hücrelerinde azalan S'nin değişim oranında yatmaktadır. Son olarak konsolide kompakt alanları tanımlayan tip 5'e ulaşmıştır ($1,78 < D \leq 2$). Sonuçlara göre, MAL'deki mekânsal-zamansal bölge türlerinden 1960 ve 1990 arasında tip 1'in birçok kutusu tip 2 kutusunu oluşturur (toplam değişikliklerin% 21,6'sı), 1990'dan 2004'e kadar ise tip 2'den tip 3'e (toplam değişikliklerin% 11,9'u) ve tip 3'ten tip 4'e (toplam değişikliklerin% 10,3'ü) bir artış meydana gelir. Bunlar çoğunlukla 1960 yılında halihazırda mevcut olan yönetim merkezleri civarındadır. Bu sonuçlar, şehirlerin artan evrimsel hızına uyum sağlaması gereken esnek ama etkili planlama ve düzenlemenin geliştirilmesini gerektiren, dinamik, gelişen bir organizma olarak metropol alanlarının kanıtlarını desteklemiştir.

Jayasinghe and Jeza (2014), Sri Lanka'da Colombo Şehrideki farklı dönemler; Portekiz Dönemi (1505 - 1656), Hollanda Dönemi (1656 - 1796), İngiliz Dönemi (1796 - 1948), 1999 yılın boyunca ve (2010) yılı için fraktal analiz yapmışlardır. 100 metrelik aralık yarıçapı ile kütle faktal yöntemi kullanılarak yol uzunluğu kütle fraktal boyutları ve yerleşim alanının kütle fraktal boyutları hesaplanmıştır. Sonuçlar, Portekiz Döneminin yol uzunluğu kütle fraktal boyutunu (-1,03 ile 2,67) ve yerleşim alanının kütle fraktal boyutunu(0,0 ile 1,62); Hollanda Döneminin yol uzunluğu kütle fraktal boyutunu (-2,62 ile 1,68) ve yerleşim alanının kütle fraktal boyutunu(0,00 ile 1,88); erken İngiliz Döneminin yol uzunluğu kütle fraktal boyutunu (-2,62 ile 2,19) ve yerleşim alanının kütle fraktal boyutunu(0,00 ile 1,99); geç İngiliz Döneminin yol uzunluğu kütle fraktal boyutunu (-2,15 ile 2,37) ve yerleşim alanının kütle fraktal boyutunu(0,0 ile 1,99); 1999 yılın boyunca yol uzunluğu kütle fraktal boyutunu (-2,15 ile 2,11) ve yerleşim alanının kütle fraktal boyutunu(0,14 ile 1,99) ve 2010 yılı yollar uzunluğu kütle fraktal boyutunu (-2,27 ile 2,18) ve yerleşim alanının kütle fraktal boyutunu(0,46 ile 1,99) belirlenmiştir. Yol uzunluğu kütle fraktal boyutu ile yerleşim alanının kütle fraktal boyutu arasındaki regresyon katsayısı (R^2) değerleri farklı dönemlerde sırasıyla 0,53; 0,68; 0,63; 0,76; 0,78 ve 0,79 olduğu belirlenmiştir. Bu eğilim, gelecekte yerleşim alanı ile yol arasında daha yüksek bir ilişkiye sahip olma olasılığı olduğunu göstermiştir.

Jevrić *et al.* (2014) doğal ve yapay ortamdaki fraktal özelliğın insan konforu için öneminin farkındalığını belirlemiştir. İlk olarak karmaşıklık teorisi ve fraktal geometrinin temel kavramları sunulmuştur. Daha sonra kentsel tasarım uygulamaları için bazı teorik bilgiler verilmiş ve bazı öneriler ortaya konulmuştur. Son olarak, "düzenli karmaşıklık" geometrisi olarak fraktal geometri yöntemlerini kullanarak kentsel alanların çevresel iyileştirilmesi, tasarımı ve yeniden inşası için daha iyi kriter seçimi elde etmek amacıyla gelecekteki çalışmalar için öneriler sunulmuştur. Çalışma, yeni planların şehirleri karmaşık sistemler olarak görmesi gerektiği sonucuna varmıştır. Bütünsel ve sürdürülebilir kalkınma için fraktal tasarımın yeni ilkelerinin belirlenmesini içerir. Bu da aşağıdakilere neden olur: nüfus dağılımı, alan kullanımı veya kentsel yayılma tahminlerinin elde edilmesi; daha büyük veya daha küçük müdahaleler veya proje gereksinimleri nedeniyle kentsel modelin fiziksel karmaşıklığındaki değişikliklerin tahmin edilmesi; çevredeki yüksek kaliteli manzaraları ve / veya tarım alanlarını korumak için kentsel modelin parçalanmasının önlenmesi veya sınırlandırılması; merkezi alanların iyi havalandırılması için önemli bir faktör olarak yeşil alanların kentsel kumaşa nüfuz etmesini sağlaması; rekreasyon ve doğa ile temas yerlerine iyi erişilebilirlik olması; merkezi tesislere iyi erişilebilirlik olması. Ayrıca bazı anahatlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır: yapılı çevrenin fraktalitesini sadece bir projeksiyonda analiz etmek yeterli olmaması; insan çevresinin fraktalitesinin ve tüm etkilerinin daha net bir şekilde belirlenmesi için diğer projeksiyonu, yani yapılı çevrenin yükselmesini de dikkate alınması; fraktal ortamın insanlar üzerindeki psikolojik etkisi üzerine daha fazla çalışma, kentsel yaşam kalitesi ile kentsel morfolojinin fraktal seviyesi arasında bir bağlantı olup olmadığı sorusuna net bir cevap verici olması; özellikle, daha düşük veya daha yüksek çevre fraktal özelliğinin, içindeki yaşam kalitesini nasıl etkilediğine dair çevresel veriler elde edilmesi, bu da çevresel iyileştirmesinin kriterlerine dönüştürülebilmesidir. Fraktal boyut, belirli bir alanın doldurulma şekli hakkında bilgi sağlar, ancak fraktal boyutun, kentsel modellerin benzersiz kategorizasyonunu sağlamak için yeterli bir parametre olmadığını gösteren işaretler vardır. Bu amaçla fraktal boyutu tamamlamak için hangi parametrelerin veya örüntülerin özelliklerinin en iyi olacağını araştırmak gerekir.

Peiravian (2014), kentsel yol ağlarının fraktal geometrik özelliklerine odaklanmıştır. Onları incelemek ve karakterize etmek için yeni metodolojiler geliştirmeye çalışmıştır. Bu da kentsel sistemlerin daha iyi anlaşılmasını sağlayabilmiştir. Bu doğrultuda bu çalışma, kentsel yol ağlarının fraktal geometrisini karakterize etmek için yeni metodolojiler geliştirmiş ve eşsiz çok boyutlu özelliklerini temsil eden yeni göstergeler geliştirmiştir. Çalışma aynı zamanda karayolu ağlarının eşleşmiş fraktal geometrik yapısını ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, karayolu ağlarının karakteristiklerine yönelik yeni bir yaklaşım önermiştir. Yukarıdaki hedeflere

ulaşmak için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak büyük miktarda mekânsal verilerin toplanması ve işlenmesi gerekmektedir. Çalışma sonucunda, matematiksel hesaplamalar yoluyla, kutu sayımı yönteminin, ulaşım sistemleri gibi fiziksel ağların fraktal doğasını düzgün bir şekilde yakalayamadığı sonucuna varılmıştır. Bu, kutu sayımı yönteminin son yıllarda sayısız araştırmada kullanıldığı gerçeğini göz önünde bulundurarak önemli bir bulgu olmuştur. Fraktal özellikleri yakalayamasa da, kutu sayımı yöntemi, kentsel ulaşım ağlarının karmaşıklığının anlaşılmasında yararlı olabilmektedir. Kentsel karayolu ağları da dahil olmak üzere fraktal özelliklerin incelenmesine yönelik alternatif bir yaklaşım olarak bir halka-tampon yöntemi (ring-buffer method) sunulmuştur. Bir dizi kutu sayımı yöntemi ve halka-tampon yönteminin ulaşım ağına uygulayarak gerçekten de bu ağlardaki fraktal doğanın varlığını yakalayabildiği sonucuna varılmıştır. Öte yandan, karayolu ağlarının sahip olduğu fraktal özelliği ortaya çıkarmak için yeni teorilerden bahsedilmiştir.

Frankhauser (2015), fraktal geometrinin kentin mekânsal organizasyonu hakkında nasıl bilgi verdiğine dair birkaç sonuç sunmuştur. Çalışmada fraktal modellerinin arkasındaki kavramlar, kentsel modellerin ampirik analizinden elde edilen sonuçların daha iyi anlaşılmasını sağlayacak şekilde tanıtılmıştır. Fraktal analizleri yapmak için farklı yöntemler sunulmuştur. Çalışma bulgularında, fraktal özellikler ile şehirler veya kentsel bölgelerin geliştiği tarihsel bağlamlar arasındaki bağlantılar belirlenmiştir. Sonuçlar, fraktal yaklaşımın, şekilleri düzensiz görünse bile, kentsel yapısının mekânsal organizasyonunu tanımlamak için gerçekten çok uygun olduğunu göstermiştir. Bu tür modellerin düzensiz olarak algılanması, daha ziyade sınırların düzgünlüğü, binalar gibi kurucu öğelerin tekdüze dağılımı ve başka bir mekânsal organizasyon ilkesine uymalarından kaynaklanmaktadır. Kentsel yapısı, birçok durumda, karmaşık bir parçalı yapı oluşturan oldukça açık bir şekilde düzenlenmiş kasaba bölümlerinden oluşur. Tarihsel bağlamlar ve özel planlama kavramları gözlemlenen fraktal davranış türüne büyük katkıda bulunabilir. Dolayısıyla, sosyal etkileşimlerden veya toplumdaki eğilimlerden yola çıkarak planlama stratejilerinin yanı sıra kendi kendini oluşturan süreçleri ortaya çıkaran mekânsal düzen ilkesine katkıda bulunmaktadır. Fraktal kavramın gerçek dünyadaki şehirlere uygulanması için simülasyon araçları geliştirilmektedir.

Peiravian *et al.* (2015), Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak Şikago şehrideki yol uzunluğu, kavşak sayısı, nüfus + istihdam ve inşaat brüt alanında kütle fraktal boyutlarını belirlemişlerdir. Bu dört bileşenin üs yasası ilişkilerinde fraktal yapısı göstermiştir ve fraktal boyutları ile temsil etmiştir. Çalışma sonuçlarında, kütle fraktal boyutlarının sırasıyla (1,09 ile 1,21); (1,19 ile 1,39); (1,36 ile 1,73) ve (1,70 ile 1,20) olduğu belirlenmiştir. Fraktal özelliklerin biraz farklı eğilimler göstermesine rağmen, yol uzunluğu ve kavşak sayısının yakından ilişkili

olduğu belirlenmiştir. Ek olarak, nüfus + istihdam ve inşaat brüt alanı önemli ölçüde benzerdir ve biri diğerini açıklayabilir. Üstelik, bu çalışmada geliştirilen yöntem, eski bir Şikago kentinin sınırını belirleyerek, bir kentsel sistemin gizli özelliklerini yakalama yeteneğini vurgulamıştır. Önerilen yöntem, kentsel ulaşım sistemlerinin fraktal özelliklerini, bağlantı, erişilebilirlik ve hareketlilik gibi diğer özelliklerle ilişkilendirmek için de kullanılabileceği belirtilmiştir.

Mo *et al.* (2015), Shenzhen'de yol ağını fraktal analiz yöntemi ile incelemişlerdir. Çalışmada karayolu ağı kapsama endeksini (fraktal boyut D) hesaplamak için Hausdorff yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarında, Shenzhen ve Longgang bölgesi yol ağlarının fraktal boyutları sırasıyla 1,6501 ve 1,509 olduğu belirlenmiştir. Yol ağının fraktal özelliklerini analiz etmek ve değerlendirmek için fraktal teorisinin uygun olduğu tespit edilmiştir. Yol ağı değerlendirmesi ve araştırma sonuçlarının görselleştirilmesi için CBS'nin yeni araç olarak uygulanabilir olduğu bulunmuştur.

Sreelekha *et al.* (2015), Hindistan'daki Calicut kentinde bulunan karayolu ağı bağlantısını ve mekânsal örüntüyü incelemişlerdir. Ayrıca, ağ bağlantısının ağ yapısının mekânsal düzeninde anlamlı farklılığı açıklayıp açıklayamayacağını belirlemeye çalışmışlardır. CBS yazılımı kullanılarak kutu sayımı fraktal boyutu D_b hesaplanmıştır. D_b hesaplanmak için Calicut kenti 75 bölgeye bölünmüştür. Çalışma sonuçlarında, minimum maksimum ve ortalama fraktal boyutlar sırasıyla 1,004; 1,542; 1,188 olduğu belirtilmiştir. Yol ağı geliştirme seviyesi ile ağ mekânsal yapısı arasında önemli bir ilişki olduğunu ve yol ağı gelişiminin mekânsal modeldeki farklılığı önemli ölçüde açıklayabileceğini göstermiştir. Karayolu ağlarının mekânsal yapısını ölçmek için kullanılan göstergeler, karayolu ulaşım sisteminin performansı üzerindeki etkisinin yanı sıra arazi kullanımı ve kentsel biçim üzerindeki etkilerini belirlemek için uygulanmıştır. Mekânsal model ve kentsel yol ağının düzenlenmesi ile ağ yoğunluğu arasında tanımlanan ilişki, kentsel gelişim ve yol inşaatının planlanması ve politika oluşturulması için deneysel bir kılavuz olduğu belirtilmiştir.

Sreelekha *et al.* (2017), yılında yaptıkları diğer bir çalışmada ise Hindistan'daki Calicut şehri için toplu taşıma sistemi ağının fraktal yapısı değerlendirilmiştir. Kutu sayımı yöntemini iki düzeyde uygulayarak; il düzeyinde ve bölgeye göre yapılan çalışma, Calicut kentindeki kentsel karayolu ulaşım sisteminin 1,004 ile 1,542 arasında değişen fraktal boyutta olduğu gösterilmiştir. Ortalama değer 1,188 ve standart sapma 0,138, Minimum değer 1,004, banliyö bölgesi olan Chettikulam'a karşılık gelir. Maksimum 1,542, Merkez İlçeye yakın bir bölge olan Kuttichira'ya karşılık gelir. Ayrıca şehir ulaşım sisteminin fraktal boyutu 1,480'dir ve bu bir bütün olarak karayolu ağı modelinin, merkezi bölgesi ile dış banliyö bölgeleri arasındaki fraktallığı gösterdiği anlamına gelir. Düzlemsel kentsel ulaşım sisteminin fraktal boyutunun (D)

1 <D <2 arasında olduğunu, bir dış banliyö bölgesine karşılık gelen değerin minimum ve bir ticaret merkezi bölgesine karşılık gelen değerin maksimum olduğu savunulmuştur. Fraktal ölçümün diğer ulaşım sistemi değerlendirme ölçümlerinden çok farklı olduğu belirtilmiştir. Bunun nedeni, fraktal boyutun yalnızca ağın tüm özelliğini değil, aynı zamanda sistemin iç örüntüsünü ve uzaydaki kademeli değişimini de çıkarabilmesidir. Ayrıca, bağlantı gibi diğer özelliklerin sistemin iç unsurlarını açıklayamamasıdır. Şehir planlamasında ve kentsel ulaşım planlamasında parçalar ve bütün arasındaki ilişki, kutu fraktal boyutlarının tespiti ve karşılaştırılmasıyla bir ölçüde açıklanabileceği belirlenmiştir. Ayrıca, Kutu sayımı fraktal boyutunun, kentsel mekânı dolduran ulaşım sisteminin mekânsal modelini yansıttığı belirlenmiştir.

SanValério *et al.* (2018), birçok matematiksel yöntemi kullanılarak 1901 ve 2015 yılları arasında Lizbon şehri için toplu taşıma ağını analiz etmişlerdir. Araştırma iki aşamada gerçekleştirilmiştir; ilk aşamada kutu sayımı fraktal boyutu (b) ve fraksiyonel entropi, toplu taşıma ağının yapısının mekan ve zaman içindeki evrimini ölçmek için kullanılmıştır. İkinci aşamada, toplu taşıma ağını, ulaşım programlaması ve yolcu kapasitesine bağlı olarak ağın farklı seviyelerini ve istasyonların arasındaki mesafenin önemini incelenmesiyle ek bilgi edinerek analiz edilmiştir. Çalışma sonuçları, ortalama fraktal boyutların değerleri $0,93 \leq b \leq 1,14$ olduğunu ve zamanla artmasını göstermiştir. 2015 yılı için Lizbon bölgesindeki ulaşım ağlarının kutu sayımı fraktal boyutları 1,05 ve 1,4 arasında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca 2015 yılı için Lizbon bölgesindeki fraksiyonel entropinin değişimi -80 ve 20 arasında olduğu belirlenmiştir. Hem fraksiyonel entropi hem de fraktal boyutun toplu taşıma ağının tarihine göre değişkenlik gösterdiği ve toplu taşıma ağının bir bütün olarak ve ayrı ayrı bölgeler için fraktal özelliği ve genişlemedeki artışı tanımlayabildiği sonucuna varılmıştır.

Domínguez *et al.* (2018), İspanya'daki yol ağını altı farklı türe: Peninsular Özerk Toplulukları yol ağı, Tamamen yol ağı, Ulusal yol ağı, Bölgesel karayolu ağı, Otoyol ağı ve tek anayol ağı olarak incelemişlerdir. Kutu sayımı yöntemi kullanılarak İspanyol karayolu ağının bölgeyi kapsama kapasitesini analiz etmek için Multifraktal analiz yapılmıştır. Bu çalışma, yol ağlarının altındaki ağların katkısına bağlı olarak çok yönlü bir davranış sergilediğini göstermiştir. Çalışmanın sonucunda, İspanya karayolu ağının, 1,8 kutu sayımı fraktal boyutuyla bölgeyi kaplamak için yüksek verimliliğe sahip olduğu, İspanya karayolu ağının, farklı alt ağların mülkiyeti bakımından farklılaştığını (ulusal veya bölgesel olarak) ve özerk toplulukların karayolu ağları kapasitesinin (otoyol ve tek anayol), genel olarak dağılımlarında daha büyük bir heterojenlik derecesine sahip olduğu ve İspanyol ağına göre daha düşük bir fraktal boyut ($D = 1,70-1,35$) sergilediği belirlenmiştir.

Zhang (2018) mekânsal istatistiklerin perspektifini fraktal analiz yöntemlerine dahil etmeyi amaçlamıştır. Lokal D değerleri, coğrafi ağırlık düzenini orjinal fraktal yöntemlere dahil ederek alternatif bir yol kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışmada üç farklı fraktal yöntem: Üçgen Prizma yöntemi (the Triangular Prism method), Diferansiyel Kutu Sayımı yöntemi (the Differential Box Counting method) ve Fourier Güç Spektral Yoğunluğu yöntemi (the Fourier Power Spectral Density method) seçilmiştir. Lokal uyarlama amacıyla bir Gauss yoğunluğu çekirdeği işlevi kullanılmış ve çeşitli bant genişlikleri test edilmiştir. Bu çalışmanın ilk kısmı, test görüntüleri kullanılarak bu üç yöntemin global ve lokal D değerlerini araştırmıştır ve karşılaştırmıştır. Yüzey fraktal özelliği değişimini göstermek için görüntüdeki her bir piksel için D değeri hesaplanmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında, iki bölgede bulunan iki büyük ABD kenti incelenmiştir. New York ve Houston hem mekânsal hem de zamansal karşılaştırma için D değerleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Sonuçlar coğrafi ağırlık düzeninin yerel D değerlerini hesaplamak için uygun olduğunu, ancak küçük bant genişliklerine çok duyarlı olduğunu göstermiştir. New York ve Houston, hem 2000 hem de 2016 yılı için benzer küresel D sonuçları göstermiştir.

Prada *et al.* (2019) homojenlikle ilişkilendirmek için Barselona, İspanya ve La Plata, Arjantin şehirlerinden iki yol bileşiminin fraktal analizini incelemişlerdir. Seçilen yolların homojenliğini belirlemek için, fraktal boyutları ve boşluk (lacunarity) değerleri FracLac yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Fraktal boyut manyetik rezonans görüntüler için kutu sayımı metodolojisi kullanılarak hesaplanmıştır. Bir görüntünün homojenliğinin bir ölçüsü olan boşluk , beyaz bir arka plan üzerinde siyah olarak gösterilen ikili bir nesnede boşlukların önemini değerlendirir. Miktar, boyut ve düzensizlik açısından daha fazla boşluk sayısı, boşluk değeri artar. Boşluk, görüntülerdeki nesnelerin homojenlik derecesini ve dağılımını gözlemlemek için her bir görüntüde hesaplanmıştır. Ana sonuçlar, yolların dağılımı farklı olmasına rağmen iki görüntünün fraktal boyutunun çok yakın olduğunu göstermiştir (Barselona $D=1,202$ ve La Plata $D = 1,217$). Öte yandan, İspanya'nın Barselona kentinde 1,627 bir boşluk değeri bulunurken, Arjantin'deki La Plata'nın 1,301 bir boşluk değeri vardır. Yani Arjantin, La Plata kenti, boşluk değeri açısından İspanya'nın Barselona kentinden daha homojen bir yapı sergilemektedir.

MATERYAL VE METOT

Türkiye'nin nüfusu 82 003 882 kişidir ve yüzölçümü 1297965,652 km²'dir (Anonim 2018). Ülkenin en büyük idari birimleri illerdir ve 81 il vardır (Şekil 6). Bu iller ilçelere ayrılmıştır, toplamda 923 ilçe mevcuttur. Ayrıca ülke coğrafi, demografik ve ekonomik koşullar göz önüne alınarak 7 bölgeye ayrılmıştır.



Şekil 6. Türkiye haritası (Anonim 2018)

Marmara Bölgesi

Marmara Bölgesindeki iller batıdan doğuya sırasıyla Çanakkale, Edirne, Balıkesir, Tekirdağ, Kırklareli, İstanbul, Bursa, Yalova, Kocaeli, Bilecik ve Sakarya olup toplam 11 adet il vardır (Şekil 7). Bu on bir ilin il sınırları dikkate alınarak yapılan bir hesaplamayla bölgenin yüzölçümü 131017,9714 km²'dir, nüfusu 25 422 414 kişidir ve bölgede 158 ilçeyle 1297 köy vardır. Türkiye topraklarının yaklaşık %9'una tekabül eden bölgede Türkiye nüfusunun yaklaşık %31'i yaşamaktadır (Anonim 2018).



Şekil 7. Türkiye haritasında Marmara Bölgesi (Anonim 2018).

Karadeniz Bölgesi

Karadeniz Bölgesindeki iller batıdan doğuya sırasıyla Bolu, Düzce, Zonguldak, Karabük, Bartın, Kastamonu, Çorum, Sinop, Samsun, Amasya, Tokat, Ordu, Giresun, Gümüşhane, Trabzon, Bayburt, Rize ve Artvin olup toplam 18 tane il vardır ve en çok ili olan bölgedir (Şekil 8). Bu on sekiz ilin il sınırları dikkate alınarak yapılan bir hesaplamayla bölgenin yüzölçümü 199257,5146km²'dir, nüfusu 7 585 367 kişidir ve bölgede 197 ilçeyle 6693 köy vardır. Türkiye topraklarının yaklaşık %15'ine tekabül eden bölgede Türkiye nüfusunun yaklaşık %10'u yaşamaktadır (Anonim 2018).



Şekil 8. Türkiye haritasında Karadeniz Bölgesi (Anonim 2018).

Ege Bölgesi

Ege Bölgesindeki iller batıdan doğuya sırasıyla İzmir, Aydın, Muğla, Manisa, Denizli, Uşak, Kütahya ve Afyonkarahisar olup toplam 8 tane il vardır (Şekil 9). Bu sekiz ilin il sınırları dikkate alınarak yapılan bir hesaplamayla bölgenin yüzölçümü 145077,6188 km²'dir, nüfusu 10 514 200 kişidir ve bölgede 133 ilçeyle 1227 köy vardır. Türkiye topraklarının yaklaşık %11'ine tekabül eden bölgede Türkiye nüfusunun yaklaşık %13'ü yaşamaktadır (Anonim 2018).



Şekil 9. Türkiye haritasında Ege Bölgesi (Anonim 2018).

İç Anadolu Bölgesi

İç Anadolu Bölgesindeki iller batıdan doğuya sırasıyla Eskişehir, Konya, Ankara, Çankırı, Aksaray, Kırıkkale, Kırşehir, Yozgat, Niğde, Nevşehir, Kayseri, Karaman ve Sivas olup toplam 13 adet il vardır (Şekil 10). Bu on üç ilin il sınırları dikkate alınarak yapılan bir hesaplamayla bölgenin yüzölçümü 308348,6494 km²'dir, nüfusu 13 114 013 kişidir ve bölgede 173 ilçeyle 3246 köy vardır. Türkiye topraklarının yaklaşık %24'üne tekabül eden bölgede Türkiye nüfusunun yaklaşık %16'sı yaşamaktadır (Anonim 2018).



Şekil 10. Türkiye haritasında İç Anadolu Bölgesi (Anonim 2018).

Doğu Anadolu Bölgesi

Doğu Anadolu Bölgesindeki iller batıdan doğuya sırasıyla Malatya, Erzincan, Elazığ, Tunceli, Bingöl, Erzurum, Muş, Bitlis, Kars, Ağrı, Ardahan, Van, Iğdır ve Hakkari olup toplam 14 tane il vardır (Şekil 11). Bu on dört ilin il sınırları dikkate alınarak yapılan bir hesaplamayla bölgenin yüzölçümü 234674,0023 km²'dir, nüfusu 5 772 029 kişidir ve bölgede 125 ilçeyle 3930 köy vardır. Türkiye topraklarının yaklaşık %19'una tekabül eden bölgede Türkiye nüfusunun yaklaşık %7'si yaşamaktadır (Anonim 2018).



Şekil 11. Türkiye haritasında Doğu Anadolu Bölgesi (Anonim 2018).

Akdeniz Bölgesi

Akdeniz bölgesindeki iller batıdan doğuya göre Antalya, Burdur, Isparta, Mersin, Adana, Hatay, Osmaniye ve Kahramanmaraş olup toplam 8 tane il vardır (Şekil 12). Bu sekiz ilin il sınırları dikkate alınarak yapılan bir hesaplamayla bölgenin yüzölçümü 145059,846 km²'dir, nüfusu 10 461 409 kişidir ve bölgede 104 ilçeyle 556 köy vardır. Türkiye topraklarının yaklaşık %11'ine tekabül eden bölgede Türkiye nüfusunun yaklaşık %13'ü yaşamaktadır (Anonim 2018).



Şekil 12. Türkiye haritasında akdeniz bölgesi (Anonim 2018).

Güneydoğu Anadolu Bölgesi

Güneydoğu Anadolu Bölgesi illeri batıdan doğuya sırasıyla Gaziantep, Kilis, Adıyaman, Şanlıurfa, Diyarbakır, Mardin, Batman, Siirt ve Şırnak olup toplam 9 adet il vardır (Şekil 13). Bu dokuz ilin il sınırları dikkate alınarak yapılan bir hesaplamayla bölgenin yüzölçümü 124699,7766 km²'dir, nüfusu 8 847 980 kişidir ve bölgede 82 ilçeyle 1343 köy vardır. Türkiye topraklarının yaklaşık %10'una tekabül eden bölgede Türkiye nüfusunun yaklaşık %11'i yaşamaktadır (Anonim2018).



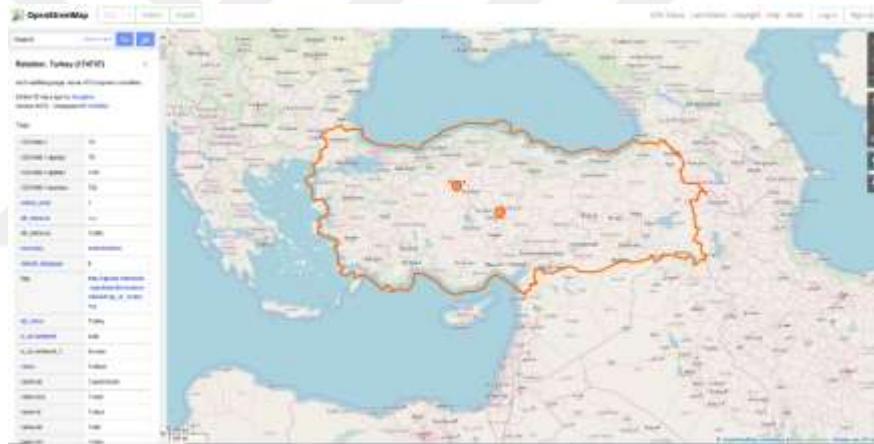
Şekil 13. Türkiye haritasında güneydoğu anadolu bölgesi (Anonim 2018).

Materyal

Ulaşım Ağı Tabakaları

Türkiye’de 81 il ve dünyadan seçilmiş 23 il için tüm haritalar OpenStreetMap (OSM) güncelleme veritabanından indirildi (Şekil 14). OSM, dünyanın ücretsiz düzenlenebilir bir haritasını oluşturmak için ortak bir projedir. Dünya çapında harita verilerinin kullanımı üzerindeki kısıtlamalar ve kolay taşınabilir uydu navigasyon cihazlarının ortaya çıkması nedeniyle OSM'nin oluşturulması ve büyümesi motive edilmiştir. OSM sitesi, İngiltere ve Galler'de kayıtlı kar amacı gütmeyen bir kuruluş olan OSM Vakfı tarafından desteklenmektedir (Vikipedi). OSM, dünyadaki tüm ülkeler için shapefile CBS formatlarında ve GCS_WGS_1984 Coğrafi Koordinat Sisteminde çok çeşitli haritalar sunmaktadır. OSM’den tüm ülke için farklı tabaka türleri indirilebilir.

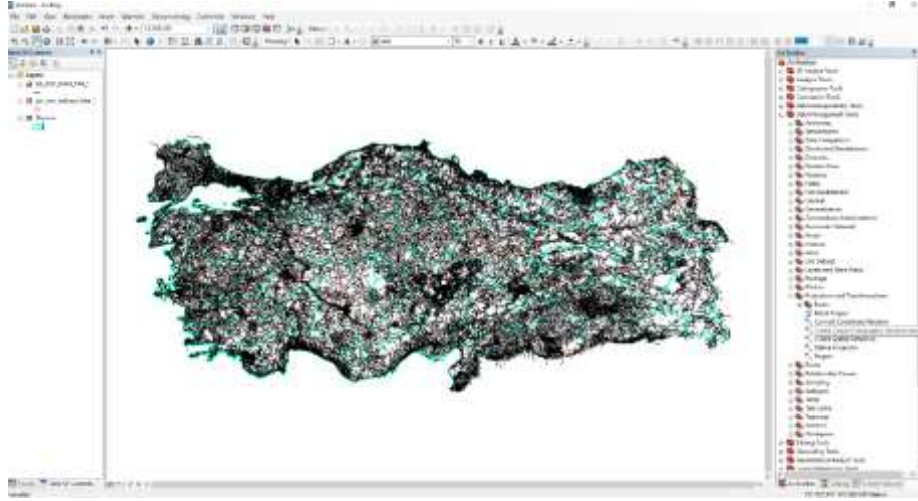
Bu araştırma için yol tabakaları ve ray tabakaları kullanılır. Türkiye'de her şehir için karayolu, demiryolu ve il sınırı tabakaları indirildi.



Şekil 14. Çalışma alanı (Anonymous 2018)

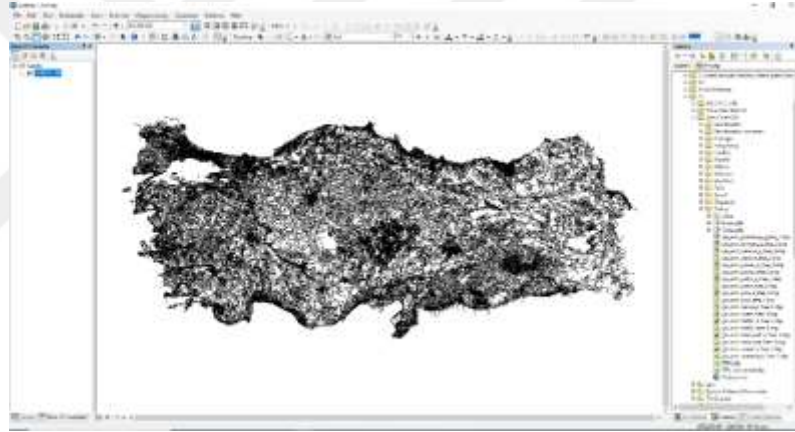
Ulaşım Ağı Haritaları

Tüm dosyalar işlenmek için Coğrafi Bilgi Sistemi Yazılımı (CBS) kullanılarak CBS ortamında açılmaktadır (Şekil 15). Önceki adımda belirtildiği gibi tabkalar, Veri Yönetim Araçları Projeksiyon ve Dönüşüm / Proje (Data Management Tools Projection and Conversion / Project) kullanılarak GCS_WGS_1984 Coğrafi Koordinat Sisteminden (Gerçek dışı koordinat Sistemi) WGS_1984_Web_Mercator_Auxiliary_Sphere Koordinat Sistemine dönüştürüldü.



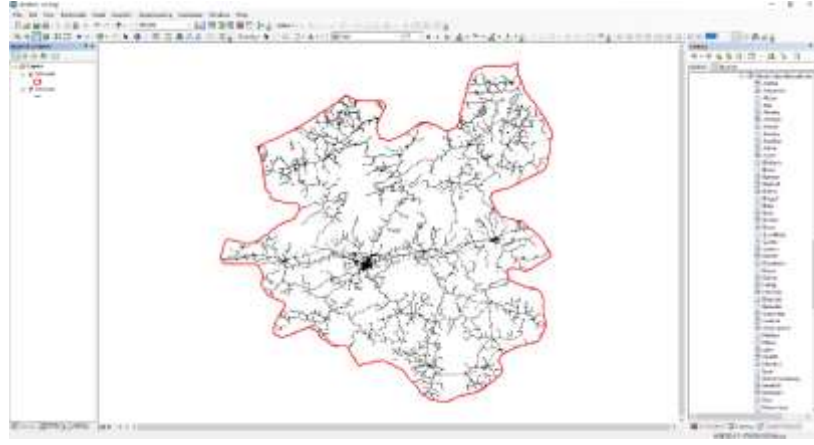
Şekil 15. Karayolları, demiryolları ve il sınırları haritası

Veri Yönetim Araçlarındaki(Data Managment) Birleştirme aracını (Merge Tool) kullanarak ulaşım ağı haritasına ulaşmak için demiryolları ve karayolları tabakayı tek bir tabakada birleştirildi (Şekil 16).

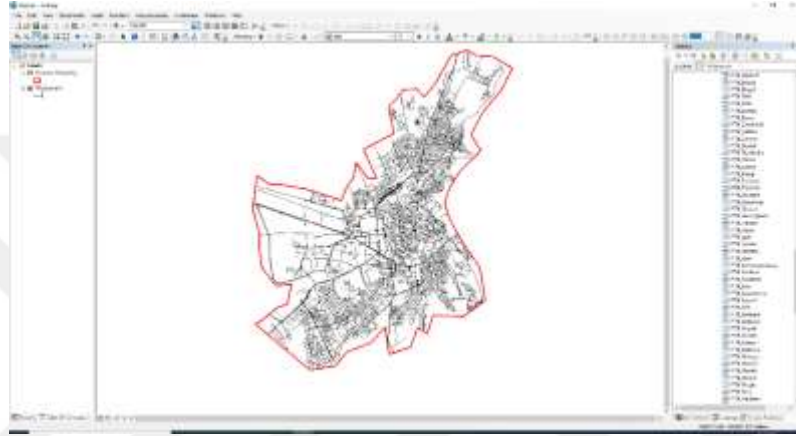


Şekil 16. Ulaşım ağı haritası

İl sınırları tabakası çıkartma aracından (extract Analysis Tools) bölme (split by attribute) aracıyla her il alt tabakaya ayrılmıştır. Bundan sonra çıkarılan alt tabakalar, çıkartma analiz araçları'ndaki (extract analysis tool) klip(clip tool) aracını kullanarak ulaşım ağı alt katmanlarını çıkarmak için ulaşım ağı tabakasıyla birlikte kullanılır. Örneğin, Erzurum ili için il sınırı ve ulaşım ağı haritası oluşturuldu (Şekil 17). Ayrıca, her şehir için kentleşmiş alanları (yoğun alanlar) çizen şehir seviyesi için haritalar hazırlanır ve ulaşım ağı, kentleşmiş alanların sınırları ile ilgili daha önce bahsedilen araçlar kullanılarak hazırlanır. Örneğin, Erzurum ili için il merkezi sınırı ve ulaşım ağı haritası oluşturuldu (Şekil 18).

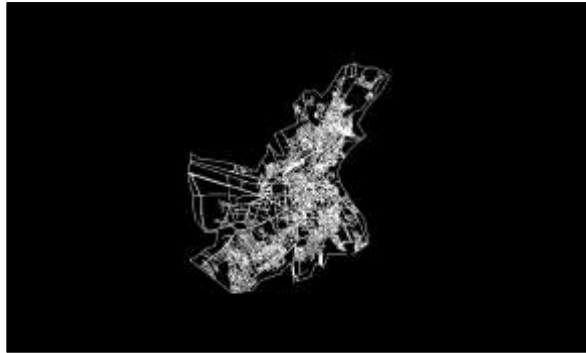


Şekil 17. Erzurum il sınırı ve ulaşım ağı haritası

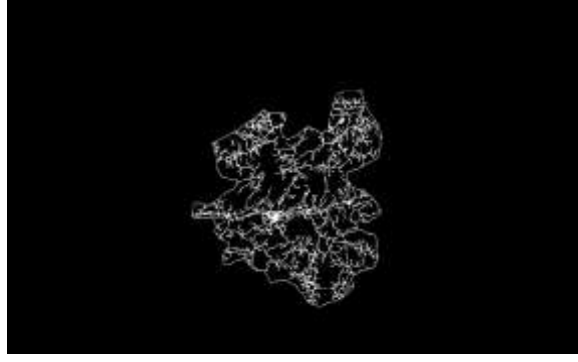


Şekil 18. Erzurum il merkezi sınırı ve ulaşım ağı haritası

Oluşturulan haritaların fraktal boyut değerlerini çıkarmak için Benoit yazılımı kullanılır. Benoit yalnızca siyah arka plan ve beyaz nesnelerle bmp uzantılı dosyaları kabul ettiğinden dolayı, ulaşım haritalarını Benoit yazılımında kullanılabilir hale getirmek için CBS yazılımı kullanılır. Erzurum şehri için il merkezi ve il sınırı ulaşım ağı işlenmiş haritaları hazırlanmıştır (Şekil 19 ve Şekil 20). Tüm haritalar 500 ve 1000 piksel arasında çözünürlük çıkarılmıştır. Hazırlanan tüm haritalar **EK 1**'de listelenmiştir.



Şekil 19. Erzurum il merkezi sınırı işlenmiş ulaşım ağı haritası



Şekil 20. Erzurum il sınırı işlenmiş ulaşım ağı haritası

Göstergeler

Nüfus sayısı ve araç sayısı 2018 yılı için Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)’den elde edilmiştir (Anonim 2018). Ulaşım ağının alanı, hatları toplamı ve uzunluklarının toplamı hem il sınırı hem de il merkezi sınırı için, indirilen katmanlar ve işlenmiş haritalar ilgili olarak CBS yazılımı kullanılarak çıkarılmıştır. Tüm göstergeler **EK 2’**de listlenmiştir.

Bu çalışmada Türkiye’deki seçilmiş kentler ile dünyadaki seçilmiş kentlerin fraktal geometrisinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma için McKinsey & Company tarafından Haziran 2018’de yayınlanan Başarı unsurları: 24 küresel kentin kentsel ulaşım sistemleri raporu (Elements of success: Urban transportation systems of 24 global cities report) kullanılmıştır.

Dünyanın 24 büyük şehrinde ulaşım sistemlerinin kapsamlı bir incelemesi yapılmıştır. Bu şehirleri milyarlarca insanın hayatını doğrudan etkileyen ulaşım, uygun fiyat, verimlilik, kolaylık ve sürdürülebilirlik açısından karşılaştırmıştır. Bu veriler daha sonra, insanların hareketlilik ihtiyaçlarına ne kadar iyi hizmet ettiklerine göre dünyanın ilk on şehrini tanımlamak için kullanılmıştır. Bu raporun metodolojisi, bir yolculuk öncesi, esnası ve sonrasında tüm ulaşım modlarını (kişisel, kamu, ortak, bisiklet ve yürüyüş) kapsayan detaylı bir dizi gösterge toplanmıştır. 80 gösterge doğrudan ve 15 tanesi de sonuçları hesaplamak ve kontrol etmek için kullanılmıştır. Ayrıca her şehirde 400 kişi ile anket yapılarak kendilerine sunulan mobilite seçeneklerinden ne kadar memnun oldukları belirlenmiştir. Çalışmanın ana fikri şehirleri kullanılabilirlik, ekonomiklik, verimlilik, kolaylık, sürdürülebilirlik ve son olarak genel kaliteye göre sıralamaktır. Bunun için 30’den fazla ulaştırma uzmanından -tüm dünyadaki kamu ve özel sektör ulaştırma organizasyonlarından temsilciler ve bu kuruluşlara danışmanlardan- hayat kalite ve önem üzerindeki etkisine ve göstergelerine ağırlık vermeleri istenmiştir (Knupfer *et al.* 2018)

Yöntem

Fraktal Boyut Hesaplanması

Fraktal boyut hesaplanamsı beş farklı biçimde belirlenmektedir. Bunlar sırasıyla; Kutu Sayımı Boyutu (Db), Çevre- Alan Boyutu (Dp), Bilgi Boyutu (Di), Kütle Boyutu (Dm) ve Cetvel Boyutudur (Dr). Daha önceki ilgili çalışmalardan da anlaşıldığı gibi, bir ulaşım ağının fraktal özelliklerini belirlemek için kutu sayımı ve kütle yöntemler yaygın olarak kullanılmıştır. Fraktal boyutu hesaplamak için Benoit yazılımı bir araçtır. Fraktal boyutları hesaplamak için herhangi bir yazılımın kullanılması, aynı nesne için fraktal boyutta değişikliklere neden olabileceğine dikkat edilmelidir. Çünkü yazılım parametrelerinin konfigürasyonundaki herhangi bir değişiklik fraktal boyutun değerini de değiştirebilir. Görüntünün çözünürlüğü de çok önemli bir faktördür. Fraktal boyuttaki varyasyonlar ile görüntülerde algılanan görsel kalite düzeyleri arasında pozitif bir ilişki olduğunu belirlenmiştir (Cooper *et al.* 2010; Cooper and Oskrochi 2008; Cooper *et al.* 2013). Bunun nedeni düşük çözünürlüklü görüntüler yeterince ayrıntılı olmayabilir ve yanlış değerlere yol açma olasılıkları daha yüksektir. Ayrıca, farklı kullanıcı olması durumunda farklı ayarlamalardan dolayı farklı fraktal boyutlar elde edilebilir. Dolaysıyla hata yüzdesini azaltmak için bu çalışmadaki ilk veri toplamadan analize kadar tüm metodoloji adımları bir kişi tarafından gerçekleştirilmiştir. Görüntü çözünürlükleri, ağın karmaşıklık düzeyine bağlı olarak değişen 500-1000 piksel arasında seçilmiştir ve Benoit parametre yapılandırmaları tüm haritalar için düzenlenmiştir.

Kutu Sayımı Boyutu (Db)Yöntemi

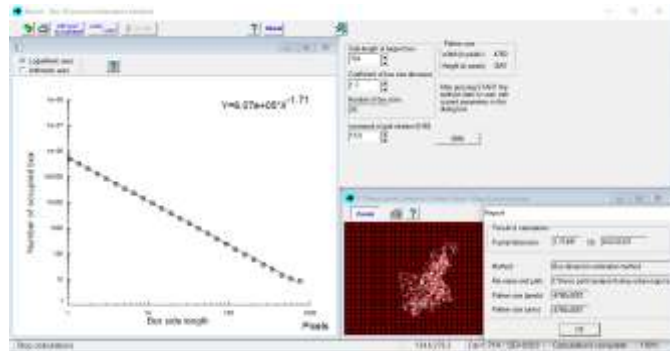
Kutu boyutu, (3.1) denkleminde üs Db olarak tanımlanır:

$$N(d) = \frac{1}{d^D} \quad (3.1)$$

Burada N (d), iki boyutlu bir düzlemde dağıtılan noktaların bir veri kümesini kapsamak için gerekli olan doğrusal boyutlu d kutularının sayısıdır. Bu yöntemin temeli, denklem (3.1) fraktal olan nesneler için fraktal boyutlarını tanımlamaktadır. Düz bir çizgi bir dizi noktayı 1/d ile orantılı olarak, bir düzlem eşit olarak dağıtılmış bir dizi noktayı 1/d² ile orantılı olarak bir dizi kutuya ihtiyaç vardır. Matematiksel hesaplamalarda kolaylık sağlaması için kutular genellikle bir ızgaranın parçasıdır, bundan dolayı bu boyut, ızgara boyutu olarak adlandırılır. Düzlemin kaplanması için gereken kutu sayısını en aza indirmek için kutuların herhangi bir pozisyonda ve yönde yerleştirildiği bir kutu boyutu tanımlanabilir. Düzlemin N (d) 'yi en aza indiren konfigürasyonu d boyutlu kutularla örtmek için tüm olası yollar arasında bulmak çok zor bir hesaplama problemidir. Ayrıca, bir ızgara boyutundaki N (d) değerinin fazla tahmin edilmesi ölçeğin bir fonksiyonu değilse (yani, N (d) 'yi, tüm kutu boyutlarında% 5 ile d) tahmin

ediler; kendi kendine benzerdir, daha sonra bir ızgaradaki kutuları kullanmak veya kutuların herhangi bir pozisyon almasına izin vererek $N(d)$ 'yi en aza indirmek aynı sonucu vermek zorundadır. Bunun nedeni, 1 sayısı gibi bir güç yasasının $N(d)$ veya d 'yi herhangi bir sabitle çarptığımızda üssün değişmeyeceği şeklindedir.

Pratikte, D_b 'yi ölçmek için, bir dizi d değeri için düzlemi kapsamak üzere gerekli olan d doğrusal boyuttaki kutuların sayısı belirlenir ve $N(d)$ 'nin logaritması düşey ekseninde, d 'nin logaritmasına yatay ekseninde çizilir. Düzlem gerçekten fraktal ise, bu grafik $-D_b$ 'ye eşit olan negatif bir eğime sahip doğrusal bir çizgiyi izleyecektir. Yerleştirilmiş noktalar elde etmek için, aritmetik bir ilerleme kullanmak yerine (örneğin, $d = 1, 2, 3, 4, \dots$) geometrik ilerlemeyi izleyen kutu boyutlarını (d) seçmek en iyisidir (örneğin, $d = 1, 2, 4, 8, \dots$). Bu prosedür d 'nin aralığını belirlemek için bir seçimdir. Çok küçük ve çok büyük d değerleri için önemsiz sonuçlar beklenmektedir. Tutarlı bir seçim, kümedeki noktalar arasındaki en küçük mesafenin 10 katı ve kümedeki noktalar arasındaki maksimum mesafenin 10'a bölünmesi küçük d olarak kullanılabilir. Alternatif olarak, log-log grafiğinin eğimi sıfıra meyilli olduğu uç kısımlarını atmak için limitler aşılabılır. Teorik olarak, her kutu boyutu için, ızgara minimum kutu sayısı dolu olacak şekilde kaplanmalıdır. Bu, her yazılım boyutu için ızgarayı 90 derece döndürerek ve minimum $N(d)$ değerini çizerek bu yazılımda gerçekleştirilir. Açısal dönüş artışlarını seçmek mümkündür. Örneğin, Erzurum il merkezi sınırı ulaşım ağı için kutu boyutu tahmin yönteminin Benoit arayüzü gösterilmiştir (Şekil 21) (Anonymous 2019).



Şekil 21. Erzurum il merkezi sınırı ulaşım ağı için kutu boyutu tahmini

Çevre- Alan Boyutu (D_p) Yöntemi

İki boyutlu düzlemde kapalı bir döngü olan bir nesne olarak tanımlanabilir. Bu bir fraktal nesnesi olursa A alanı ve P çevresi (3.2) denklemindeki gibidir:

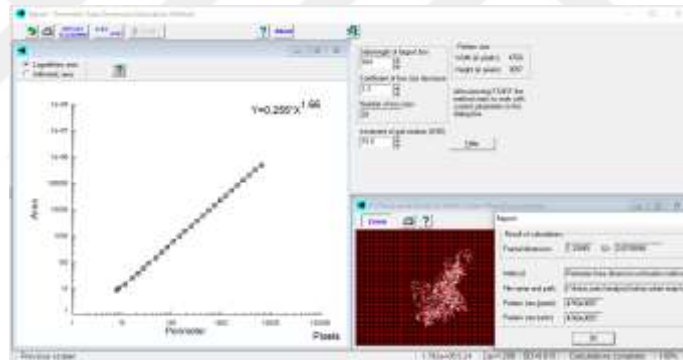
$$P = 2\pi r = r\sqrt{\pi r} \approx \sqrt{A}$$

$$A = \pi r^2 = \frac{P^2}{4\pi} \approx P^2 \quad (3.2)$$

$$P \approx \sqrt{A}^D = A^{D/2}$$

$$A = P^{2/Dp} \quad (3.3)$$

Burada D_p , çevre alan boyutudur. Eğer $D_p = 1$ (3.2)'deki gibi nesne fraktaldır; $D_p = 2$ ise, P , A nedeniyle şekil daha yoğun olur. D_p 1 ve 2 arasındaysa, denklem (3.3), fraktal şeklin çevresinin, beklendiği gibi aynı alana sahip bir fraktal şeklin çevresinden daha uzun olduğunu gösterir. Uygulamada, D_p 'yi tahmin etmek için, P çevresi ve A alanını farklı yan uzunluktaki d kutuları ile ölçülür ve yatay eksen P 'nin logaritmasına karşı dikey eksen A logaritması yer alır. İlişki fraktal ise, bu grafik $2 / D_p$ 'ye eşit pozitif bir eğime sahip düz bir çizgi izleyecektir. Çevre ve alan tahminlerinin d aralığı üzerinden yapılması gerekmektedir. Örneğin, Erzurum il merkezi sınırı ulaşım ağı için çevre alan tahmin yönteminin Benoit arayüzü gösterilmiştir (Şekil 22) (Anonymous 2019).



Şekil 22. Erzurum il merkezi sınırı ulaşım ağının çevre- alan boyut tahmini

Bilgi Boyutu (Di) Yöntemi

Bu fraktal boyuta fizik literatüründe sıklıkla rastlanır ve genellikle kutu boyutundan farklıdır. Kutu boyutu tanımında, bir kutu dolu olarak sayılır ve bir nokta veya nispeten çok sayıda nokta içerip içermediğine bakılmaksızın $N(d)$ hesaplanır. Bilgi boyutu, kutulara, daha fazla sayıda nokta içeren kutular, daha az noktalı kutulardan daha fazla sayılacak şekilde ağırlıklar atar. Bir dizinin $N(d)$ doğrusal kutu boyutu (d) bilgi entropisi $I(d)$ (3.4) denkleminde hesaplanır:

$$I(d) = -\sum_{i=1}^{N(d)} \text{mi. log(mi)} \quad (3.4)$$

 $m_i:$

$$m_i = \frac{M_i}{M} \quad (3.5)$$

Burada M_i , i 'inci kutusundaki nokta sayısı ve M , kümedeki toplam nokta sayısıdır. İki boyutlu düzlemde eşit olarak dağıtılmış bir dizi nokta olarak tanımlanır. Bu durumda,

$$N(d) \approx \frac{1}{d^2}, m_i = d^2 \quad (3.6)$$

Böylece (3.4) denklemini aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$I(d) \approx -N(d)[d^2 \log(d^2)] \approx -\frac{1}{d^2} [2x^2 \log] = -2\log(d) \quad (3.7)$$

Düzgün bir çizgi oluşturan bir dizi nokta için,

$$I(d) \approx -\log(d) \quad (3.8)$$

Bu nedenle, D_i bilgi boyutu aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$I(d) \approx -D \log(d) \quad (3.9)$$

Uygulamada, D_i 'yi ölçmek için, doğrusal boyutta d kutuları olan küme kaplanır ve her bir kutudaki kütle m_i izlenir ve bilgi entropisi $I(d)$ (3.4)'teki toplamdan hesaplanır. Dizi fraktal ise, d 'nin logaritmasına karşı $I(d)$ 'nin grafiği $-D_i$ 'ye eşit bir eğime sahip düz bir çizgi izleyecektir.

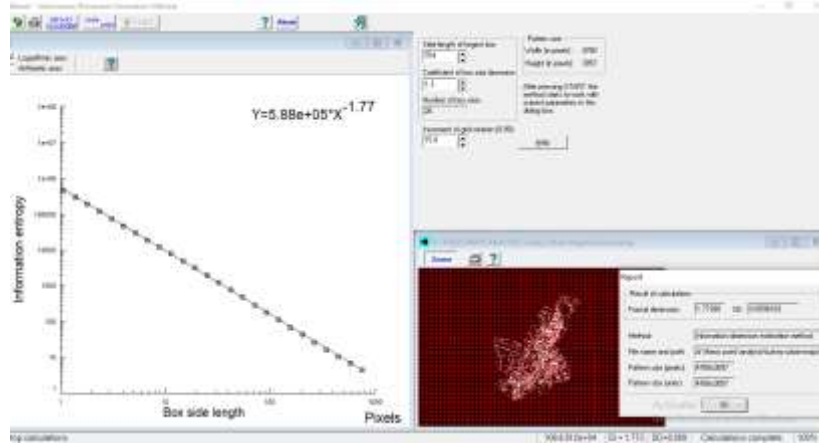
Bilgi boyutunun kutu boyutundan farklı olduğunu ve daha fazla nokta içeren daha ağır kutuları ağırlaştırdığı gösterilmiştir. Bunu görmek için, her kutuda bulunan m_i kütleleri açısından bilgi entropisi $I(d)$ aşağıdaki denklem gibi yazılabilir:

$$I(d) = -\sum_{i=1}^{N(d)} m_i \cdot \log(m_i) \quad (3.10)$$

(3.10)'daki ilk ifade $N(d)$ 'nin ayrıntılı yazımıdır, ancak $m_i > 0$ ise her bir kutunun sayıldığını gösterir. İkinci ifade doğrudan bilgi entropisinin (3.4) tanımından alınır. Dolu kutuların sayısı $N(d)$ ve bilgi entropisi $I(d)$, ilgili boyutların hesaplanmasına farklı şekillerde girer:

$$D_b \leq D_i \quad (3.11)$$

(3.11) denklemde boyutları arasındaki eşitlik durumu, veri seti bir düzlem üzerinde eşit olarak dağıtıldığında gerçekleşir. Örneğin, Erzurum il merkezi sınırı ulaşım ağı için bilgi tahmin yönteminin Benoit arayüzü gösterilmiştir (Şekil 23) (Anonymous 2019).



Şekil 23. Erzurum il merkezi sınırı ulaşım ağının bilgi boyut tahmini

Kütle Boyutu (Dm) Yöntemi

Kütle boyutuna ulaşmak için, iki boyutlu bir düzlemde dağıtılan noktaların veri dizisine bir yarıçap r dairesi çizilir ve kümedeki dairenin içindeki nokta sayısı $M(r)$ olarak sayılır. Tüm dizide M noktaları varsa, r yarıçapı çemberindeki "kütle" $m(r)$ (3.12) denkleminde hesaplanır:

$$m(r) = \frac{M(r)}{M} \quad (3.12)$$

Doğrusal bir çizgide yatan veya bir düzleme eşit olarak dağıtılmış bir dizi nokta düşünülebilir. Bu iki durumda, yarıçapı r olan daire içindeki kütle, sırasıyla r ve r^2 ile orantılı olacaktır. Daha sonra kütle boyutu D_m , (3.13) denkleminde üs olarak tanımlanabilir:

$$m(r) \approx r^D \quad (3.13)$$

Uygulamada, dizinin merkezinden başlayarak artan yarıçaplı dairelerdeki $m(r)$ kütlelerini ölçebilir ve $m(r)$ 'nin logaritmasını r 'nin logaritmasına karşı çizilebilir. Dizi fraktal ise, grafik D_m 'ye eşit pozitif eğime sahip düz bir çizgi izleyecektir. Yarıçap, dairenin merkezinden en uzaktaki dizideki noktanın ötesine arttıkça, $m(r)$ sabit kalacaktır ve boyut sıfır olacaktır. Bu yaklaşım en iyi radyal simetriyi takip eden nesneler için uygundur. Düzlemdeki noktalar söz konusu olduğunda, $m(r)$ yarıçapı r 'nin birkaç dairesinde ortalama kütle olarak hesaplamak en iyisi olabilir. Bir dizinin kütle boyutunun kutu boyutuna eşit olduğu gösterilebilir. Bu küresel olarak, yani bütün dizi için geçerlidir; lokal olarak, yani dizinin kısımlarında, iki boyut farklı olabilir. Eğer dizini d boyutlu $N(d)$ kutularla kaplarsak, i 'inci kutusunda m_i kütle (3.14) denkleminde tanımlanabilir:

$$m_i = \frac{M_i}{M} \quad (3.14)$$

Burada M_i , i 'inci kutusundaki nokta sayısı ve M , dizideki toplam nokta sayısıdır. Ortalama kütle $m(d)$ boyutunda kutularda d (3.15) denkleminde hesaplanır:

$$m(d) = \frac{1}{N(d)} \sum_{i=1}^{N(d)} m_i = \frac{1}{N(d)} \quad (3.15)$$

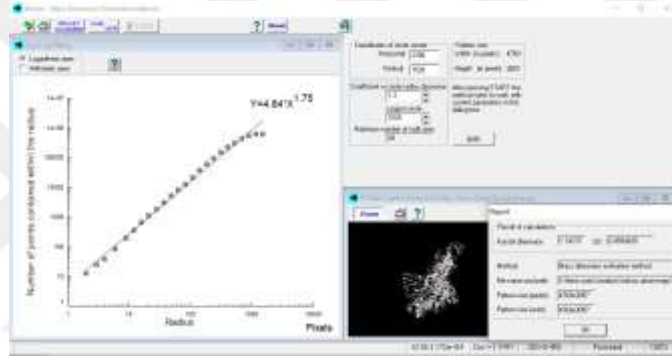
D boyutunda bir kutuda bulunan kütleyi hesaplama işlemi, yarıçapı r olan bir daire içindeki kütleyi hesaplama ile aynı olduğundan, kütle boyutu (3.16) denkleminde r yerine d olarak yazabilir:

$$m(d) \approx d^D \quad (3.16)$$

(3.14)'ü kullanarak ve şartları yeniden düzenleyerek aşağıdakiler elde edilir:

$$N(d) \approx \frac{1}{d^D} \quad (3.17)$$

(3.17) deknlemi aynı zamanda kutu boyutunun tanımı; böylece kütle boyutu kutu boyutuna eşittir. Örneğin, Erzurum il merkezi sınırı ulaşım ağı için kütle tahmin yönteminin Benoit arayüzü gösterilmiştir (Şekil 24) (Anonymous 2019).



Şekil 24. Erzurum il merkezi sınırı ulaşım ağının kütle boyut tahmini

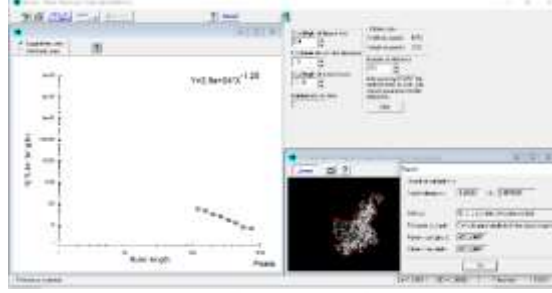
Cetvel Boyutu (Dr) Yöntemi

Cetvel boyutu nesnenin çevre uzunluğu ile ilgilidir. d uzunluğunda bir çizgi nesnenin çevresi üzerinde N (d) sayısı kadar parça sayısı olarak tanımlanır. Dr cetvel boyutu (3.18) denklemindeki gibi hesaplanır:

$$N(d) = d^{-D} \quad (3.18)$$

Bu yöntemin temeli şöyledir: eğer çizgi fraktal, $D_r = 1$ ise, çizginin uzunluğu d'den bağımsız bir sabit olacaktır. Ancak bu, d'nin yeterince küçük değerleri için geçerlidir. Örneğin, d uzunluğu kadar bir cetvel tarafından ölçülen bir dairenin çevresi, d dairenin yarıçapından çok daha az olduğunda sabit olacaktır. Diğer uçta, çizgi tamamen boşluğu dolduruyorsa, $D_r = 2$, yani çizginin uzunluğu cetvelin uzunluğu ile doğrusal olarak ilişkilidir. Nesnenin ölçülen çevre uzunluğunu kapatmak için d uzunluğundaki çizgi parçasının sayısı N (d) kutu sayısı ile eşitlenmesiyle bunun doğru olduğu gösterilebilir. $D_r = 2$ olduğunda, doldurulmuş kutuların sayısı $1/d^2$ ile orantılıdır ve çizgi iki boyutlu boşluğu doldurur. Cetvel ve kutu boyutunun denkliği gösterilebilir. Uygulamada, D_r 'yi elde etmek için, çevre üzerinde d uzunluğunda bir

izgi parçası yürüterek atılan $N(d)$ adımları sayılır ve $N(d)$ 'nin logaritması ile d 'nin logaritmasının grafiği çizilir. Nesne fraktal ise, bu grafiğin eğimi $-D_f$ 'ye eğit olan eğimli bir çizgidir. Genel olarak, d uzunluğunda bir cetvelin tam olarak çizgiyi kapatmayacağına dikkat edilmelidir, ancak bir parça geriye kalır. Yazılım bu geri kalanını tutar ve bu nedenle $N(d)$ tamsayı olmayan değerlere sahip olur. Örneğin, Erzurum il merkezi sınırı ulağım ağı için cetvel tahmin yönteminin Benoit arayüzü gsterilmiğtir (ęekil 25) (Anonymous 2019).



ęekil 25. Erzurum il merkezi sınırı ulağım ağının cetvel boyut tahmini

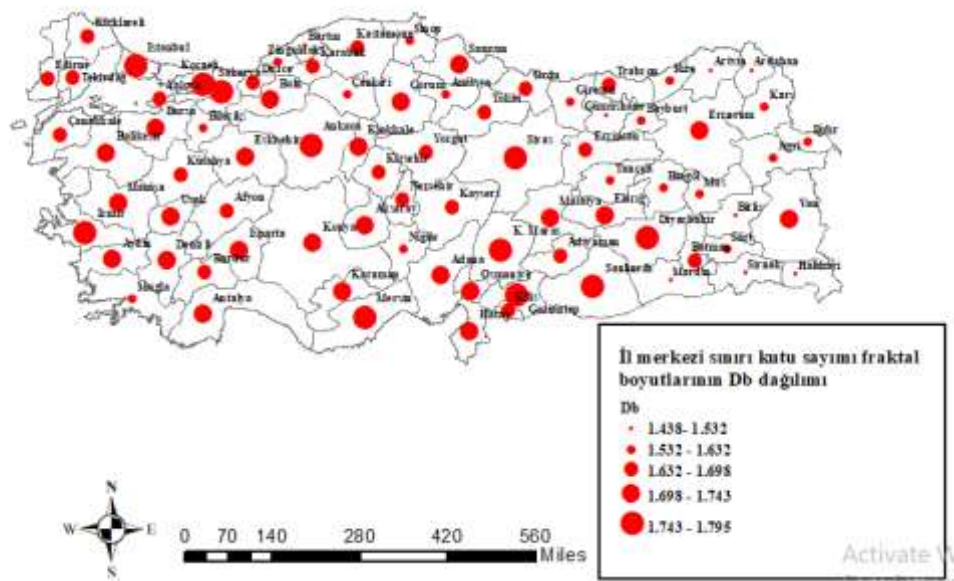
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Fraktal Analiz Sonuçları

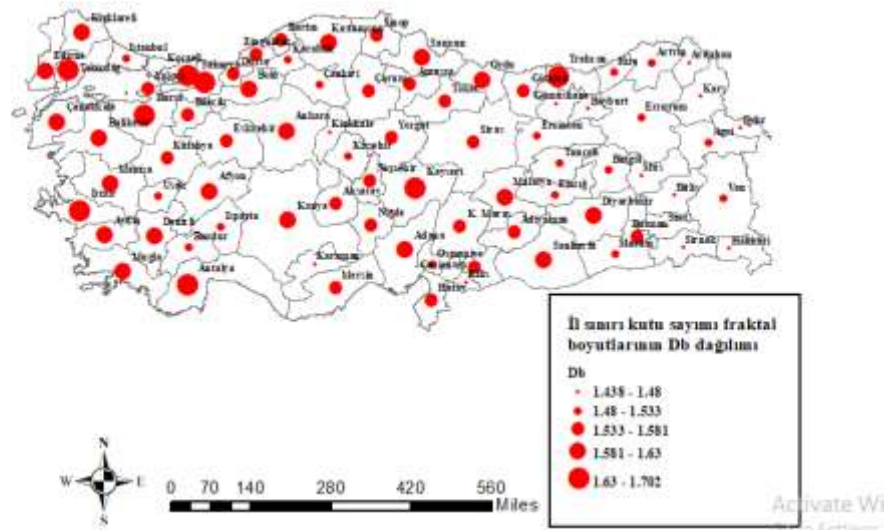
Çalışmada fraktal analizi belirlemek için Benoit yazılımı kullanılmıştır. Türkiye’de 81 il için beş farklı fraktal boyut hesaplanmıştır. Her il için hem il merkezi hem de il sınırları için fraktal boyut belirlenmiştir. Ayrıca dünya’daki farklı ülkelere ait 23 metropol şehir için fraktal boyutlar belirlenmiştir. Türkiye’de Ankara ve İstanbul şehirleri ile belirlenen 23 metropol şehrin fraktal boyutları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar **Ek 3**’te belirtilmiştir.

Kutu Sayımı Boyutu (Db) Analiz Sonuçları

Db, 1 ile 2 arasında belirlenmiştir. Bu sonuç, Benguigui *et al.* (1999) ; Shen (2002); Kim *et al.* (2002); Lu and Tang (2004); Cooper and Oskrochi (2008); Encarnação *et al.*(2012); Sreelekha *et al.* (2017); Domínguez *et al.* (2018); Prada *et al.* (2019) gibi literatür inceleme bölümündeki araştırma yaklaşımları ile doğrulanmıştır. Sonuç değerlerin grafiğinde düşey ekseninde Log N (d) ile yatay ekseninde Log d arasındaki ilişki negatif eğimli bir çizgi elde edilir ve bu çizginin eğimi Db’ye eşittir ve bu verinin fraktal olduğu anlamına gelir (**Ek 4**). İl merkezi sınırı ulaşım ağlarının Db verilerinin Ortalaması 1,666, maksimum Db 1,795 Ankara’da ve minimum Db 1,438 Artvin’de belirlenmiştir (Şekil 26). İl sınırı ulaşım ağlarının Db verilerinin Ortalaması 1,553, maksimum Db 1,702 Kayseri’de ve minimum Db 1,438 Şırnak’ta belirlenmiştir (Şekil 27).



Şekil 26. İl merkezi sınırı kutu sayımı fraktal boyutlarının dağılımı

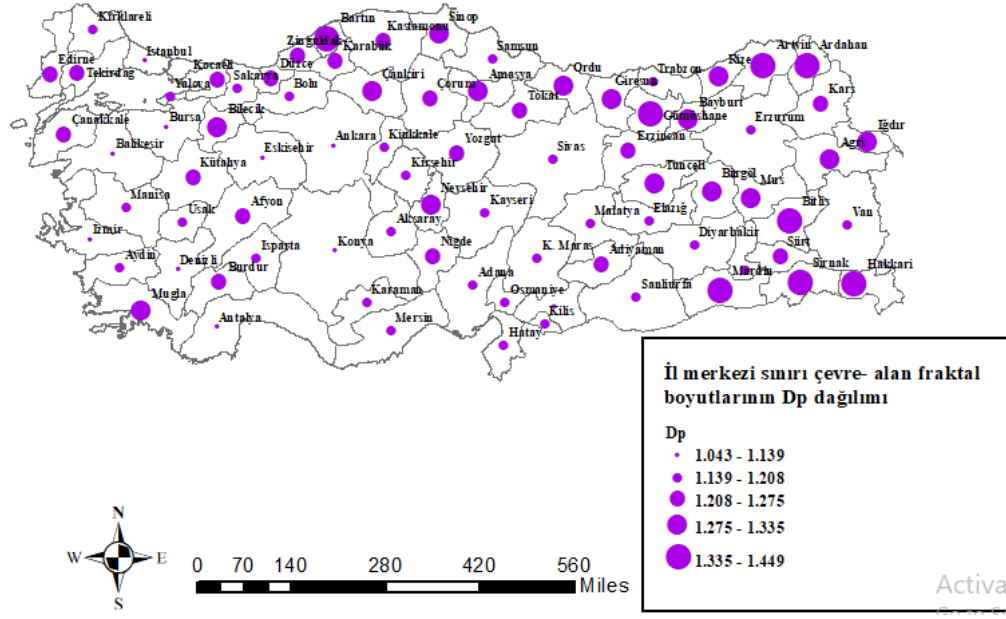


Şekil 27. İl sınırı kutu sayısı fraktal boyutlarının dağılımı

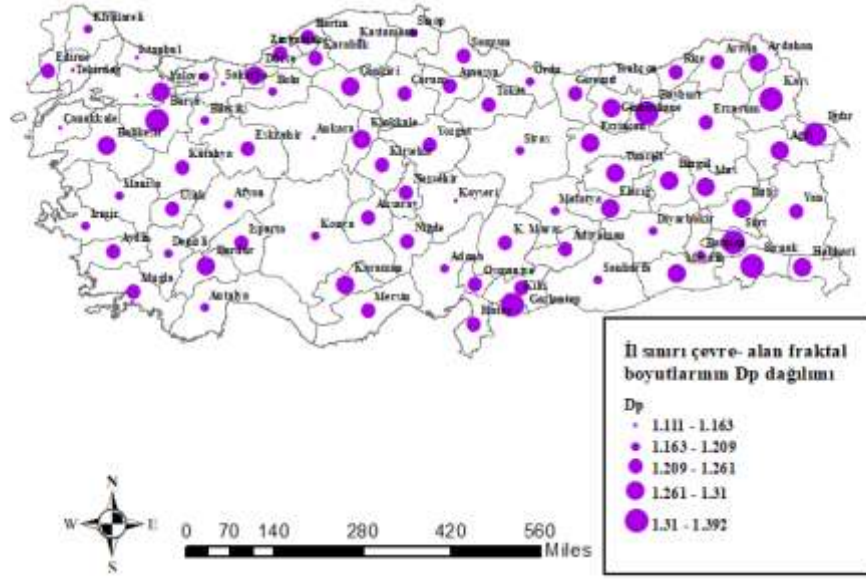
Belirli şehir çiftleri, farklı kentsel biçim parametrelerine sahip olmalarına rağmen aynı Db fraktal boyutlara sahip olabilirler. Bu duruma örnek olarak; Amasya ve Zonguldak ($Db = 1,609$), Düzce ve Yalova ($Db = 1,686$), Aydın ve Van ($Db = 1,721$), Isparta ve Karaman ($Db = 1,735$), Hatay ve Osmaniye ($Db = 1,736$) iller belirlenmiştir. Öte yandan, çok benzer kentsel biçim parametrelerine sahip şehirlerin Db değerlerinde bazı farklılıklar olabilir. Örneğin; Diyarbakır ve Çorum illerinin araç sayısı sırasıyla 124144 ve 124807 ve Db değerleri 1,754 ve 1,74'tir. Muş ve Bilecik illerinin nüfusu sırasıyla 180094 ve 180302 ve Db değerleri 1,591 ve 1,691'dir. Çanakkale ve Nevşehir illerinin yüzölçümü sırasıyla 37,829 km² ve 37,940 km² ve 1,691 ve 1,653 Db değerlerine sahiptir. Çankırı ve Iğdır illerinin ulaşım ağı hatlarının sayısı 631 ve Db değerleri sırasıyla 1,632 ve 1,588'dir. Son olarak Giresun ve Çankırı illerinin ulaşım ağı toplam uzunlukları sırasıyla 165529 m ve 165758 m ve Db değerleri sırasıyla 1,587 ve 1,632'dir. Buradaki fraktal boyutlar il merkezi sınırı dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu durum il sınırı Db fraktal boyutları için de geçerlidir.

Çevre- Alan Boyutu (Dp) Analiz Sonuçları

Dp, 1 ile 2 arasında belirlenmiştir. Bu sonuç, Imre (2006) gibi literatür inceleme bölümündeki araştırma yaklaşımları ile doğrulanmıştır. Sonuç değerlerin grafiğinde düşey eksen Log yüzölçümü A ile yatay eksen Log Çevre P arasındaki ilişki pozitif eğimli bir çizgi elde edilir ve bu çizginin eğimi Dp'ye eşittir ve bu verinin fraktal olduğu anlamına gelir (Ek 5). İl merkezi sınırı ulaşım ağlarının Dp verilerinin Ortalaması 1,232, maksimum Dp 1,449 Ankara'da ve minimum Dp 1,043 Artvin'de belirlenmiştir (Şekil 28). İl sınırı ulaşım ağlarında Db verilerinin Ortalaması 1,239, maksimum Dp 1,392 Bursa'da ve minimum Dp 1,111 Kayseri'de belirlenmiştir (Şekil 29).



Şekil 28. İl merkezi sınırı çevre- alan fraktal boyutlarının Dp dağılımı



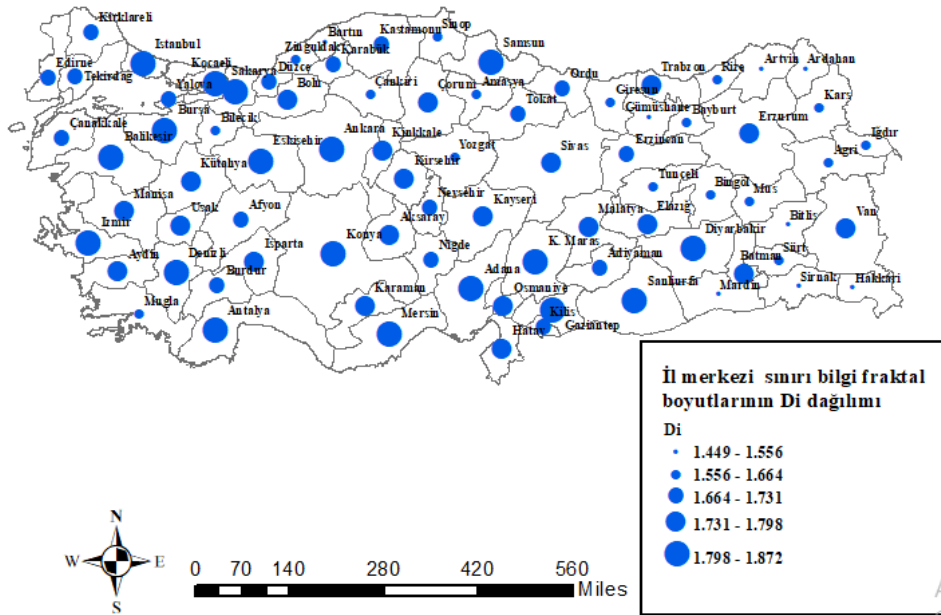
Şekil 29. İl sınırı çevre- alan fraktal boyutlarının Dp dağılımı

Belirli şehir çiftleri, farklı kentsel biçim parametrelerine sahip olmalarına rağmen aynı Dp fraktal boyutlara sahip olabilirler. Bu duruma örnek olarak; Uşak ve Yalova ($D_p = 1,198$), Aksaray ve Van ($D_p = 1,202$), Burdur ve Kars ($D_p = 1,251$), Afyon ve Yozgat ($D_p = 1,263$) iller belirlenmiştir. Öte yandan, çok benzer kentsel biçim parametrelerine sahip şehirlerin Dp değerlerinde bazı farklılıklar olabilir. Örneğin; Diyarbakır ve Çorum illerinin araç sayısı sırasıyla 124144 ve 124807 ve Dp değerleri 1,194 ve 1,245'tir. Muş ve Bilecik illerinin nüfusu sırasıyla 180094 ve 180302 ve Dp değerleri 1,3 ve 1,332'dir. Çanakkale ve Nevşehir illerinin yüzölçümü sırasıyla 37,829 km² ve 37,940 km² ve 1,257 ve 1,28 Dp değerlerine sahiptir. Çankırı ve Iğdır illerinin ulaşım ağı hatların sayısı 631 ve Dp değerleri sırasıyla 1,316 ve 1,285'tir. Son olarak Giresun ve Çankırı illerinin ulaşım ağı toplam uzunlukları sırasıyla 165529

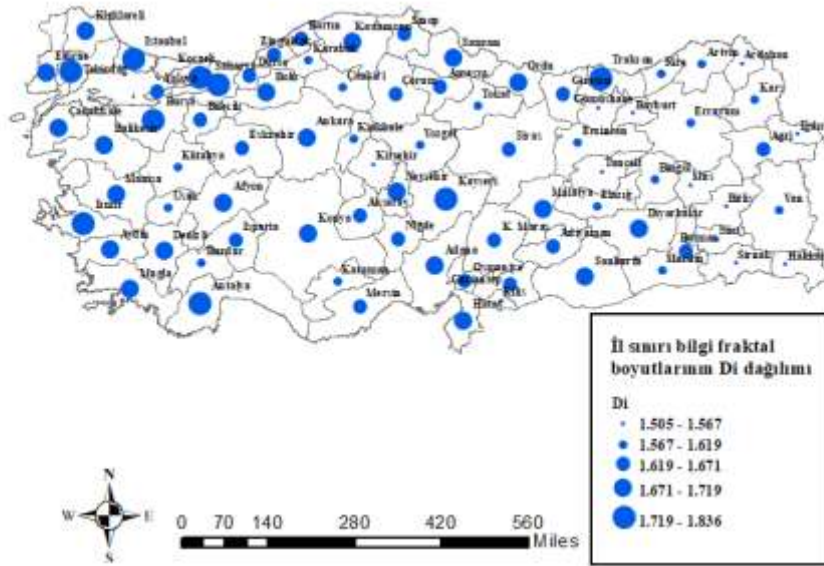
m ve 165758 m ve Dp değerleri sırasıyla 1,31 ve 1,316'dır. Buradaki fraktal boyutlar il merkezi sınırı dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu durum il sınırı Dp fraktal boyutları için de geçerlidir.

Bilgi Boyutu (Di) Analiz Sonuçları

Di, 1 ile 2 arasında belirlenmiştir. Bu yöntem daha önce literatürde kullanılmamıştır. Sonuç değerlerin grafiğinde dikey eksen $\log I(d)$ ile yatay eksen $\log d$ arasındaki ilişki negatif eğimli bir çizgi elde edilir ve bu çizginin eğimi Di'ye eşittir ve bu verinin fraktal olduğu anlamına gelir (**Ek 6**). İl merkezi sınırı ulaşım ağlarının Di verilerinin Ortalaması 1,716, maksimum Di 1,872 Ankara'da ve minimum Di 1,449 Artvin'de belirlenmiştir (Şekil 30). İl sınırı ulaşım ağlarında Di verilerinin Ortalaması 1,646, maksimum Di 1,836 İstanbul'da ve minimumu Di 1,505 Şırnak'ta belirlenmiştir (Şekil 31).



Şekil 30. İl merkezi sınırı bilgi fraktal boyutlarının Di dağılımı



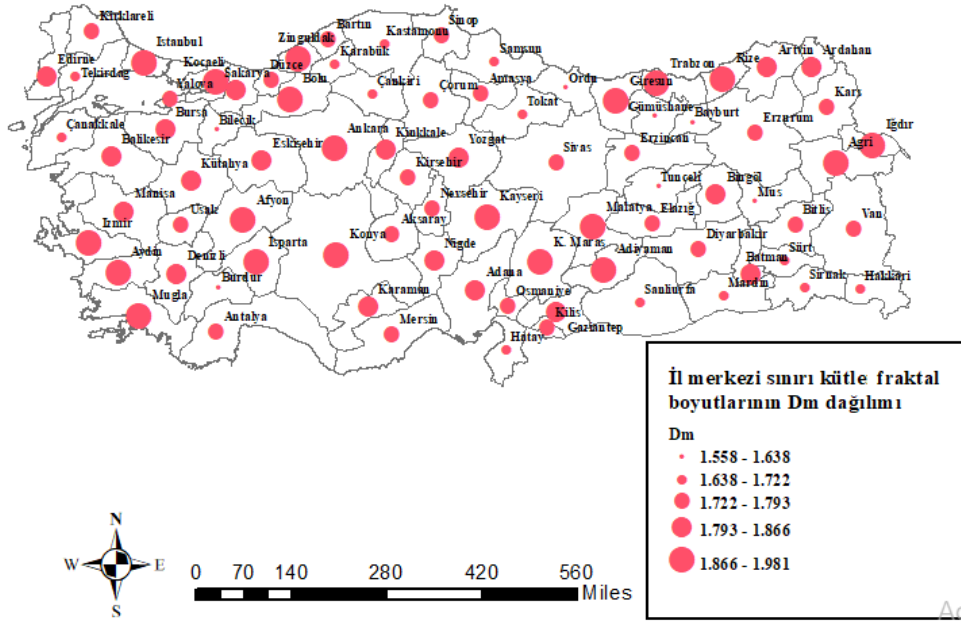
Şekil 31. İl sınırı bilgi fraktal boyutlarının Di dağılımı

Belirli şehir çiftleri, farklı kentsel biçim parametrelerine sahip olmalarına rağmen aynı Di fraktal boyutlara sahip olabilirler. Bu duruma örnek olarak; Bayburt ve Muğla ($Di = 1,638$), Siirt ve Yozgat ($Di = 1,663$), Erzincan ve Ordu ($Di = 1,72$), Çanakkale ve Tokat ($Di = 1,725$), Tekirdağ ve Yalova ($Di = 1,731$), Elazığ ve Osmaniye ($Di = 1,767$), Hatay ve Van ($Di = 1,778$), Eskişehir ve Mersin ($Di = 1,831$) iller belirlenmiştir. Öte yandan, çok benzer kentsel biçim parametrelerine sahip şehirlerin Di değerlerinde bazı farklılıklar olabilir. Örneğin; Diyarbakır ve Çorum illerinin araç sayısı sırasıyla 124144 ve 124807 ve Di değerleri 1,805 ve 1,78'tir. Muş ve Bilecik illerinin nüfusu sırasıyla 180094 ve 180302 ve Di değerleri 1,629 ve 1,641'dir. Çanakkale ve Nevşehir illerinin yüzölçümü sırasıyla 37,829 km² ve 37,940 km² ve Di değerlerine sırasıyla 1,725 ve 1,702'dir. Çankırı ve Iğdır illerinin ulaşım ağı hatların sayısı 631 ve Di değerleri sırasıyla 1,664 ve 1,631'dir. Son olarak Giresun ve Çankırı illerinin ulaşım ağı toplam uzunlukları sırasıyla 165529 m ve 165759 m ve Di değerleri sırasıyla 1,624 ve 1,664'tür. Buradaki fraktal boyutlar il merkezi sınırı dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu durum il sınırı Di fraktal boyutları için de geçerlidir.

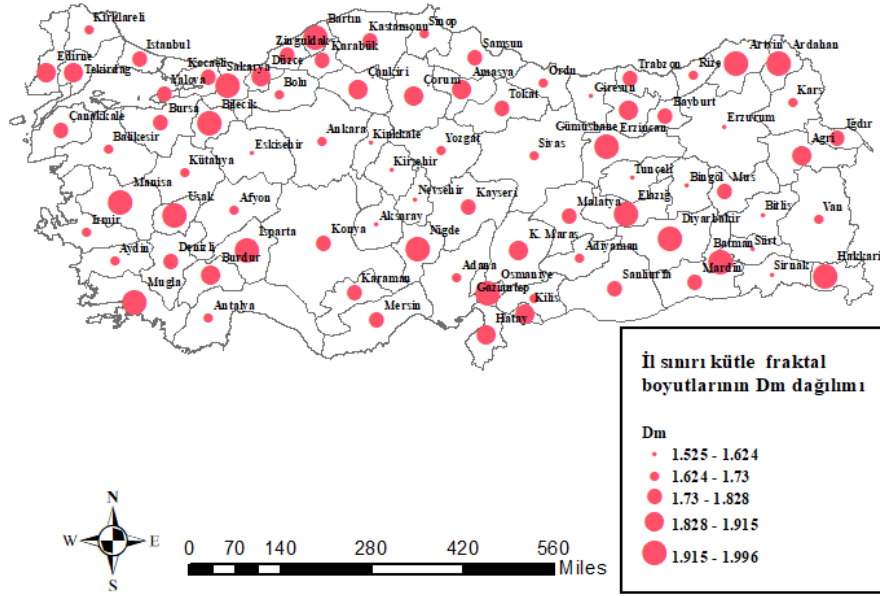
Kütle Boyutu (Dm) Analiz Sonuçları

Dm, 1 ile 2 arasında belirlenmiştir. Bu sonuç, Benguigui (1992); Jiang *et al.* (2002); Morency and Chapleau (2006); Jayasinghe and Jezaan (2014) gibi literatür inceleme bölümündeki araştırma yaklaşımları ile doğrulanmıştır. Sonuç değerlerin grafiğinde düşey eksen Log m(r) ile yatay eksen Log r arasındaki ilişki pozitif eğimli bir çizgi elde edilir ve bu çizginin eğimi Dm'ye eşittir ve bu verinin fraktal olduğu anlamına gelir (**Ek 7**). İl merkezi sınırı ulaşım ağlarının Dm verilerinin Ortalaması 1,790, maksimum Dm 1,981 İzmir'de ve minimum Dm 1,558 Gümüşhane'de belirlenmiştir (Şekil 32). İl sınırı ulaşım ağlarında Dm

verilerinin Ortalaması 1,777, maksimum Dm 1,996 Erzincan'da ve minimumu Dm 1,525 Siirt'te belirlenmiştir (Şekil 33).



Şekil 32. İl merkezi sınırı kütle fraktal boyutlarının Dm dağılımı



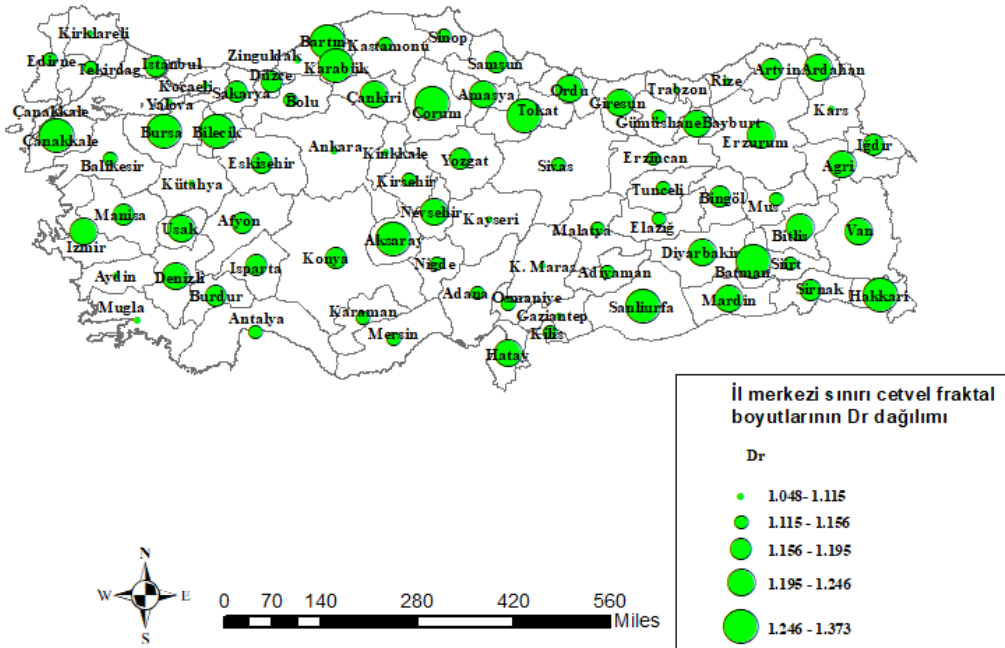
Şekil 33. İl sınırı kütle fraktal boyutlarının Dm dağılımı

Belirli şehir çiftleri, farklı kentsel biçim parametrelerine sahip olmalarına rağmen aynı Dm fraktal boyutlara sahip olabilirler. Bu duruma örnek olarak; Aksaray ve Diyarbakır ($Dm = 1,774$), Uşak ve Yalova ($Dm = 1,782$), Bartın ve Erzincan ($Dm = 1,793$), Artvin, Karaman ve Manisa ($Dm = 1,807$), Adana ve Gaziantep ($Dm = 1,829$), Balıkesir ve Sakarya ($Dm = 1,83$), Adıyaman ve Kahramanmaraş ($Dm = 1,975$) iller belirlenmiştir. Öte yandan, çok benzer kentsel form parametrelerine sahip şehirlerin Dm değerlerinde bazı farklılıklar olabilir. Örneğin;

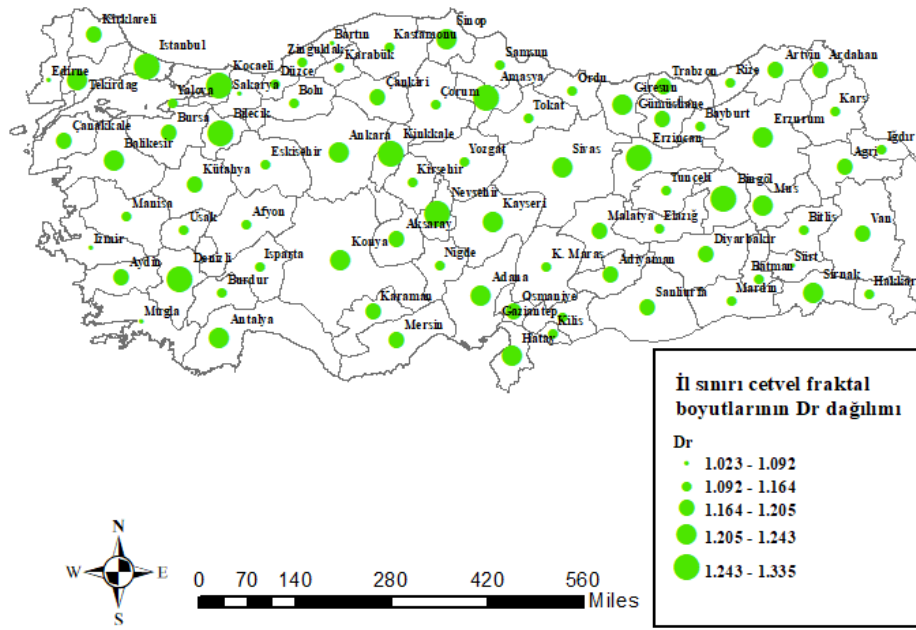
Diyarbakır ve Çorum illerinin araç sayısı sırasıyla 124144 ve 124807 ve Dm değerleri 1,774 ve 1,786'dır. Muş ve Bilecik illerinin nüfusu sırasıyla 180094 ve 180302 ve Dm değerleri 1,62 ve 1,604'tür. Çanakkale ve Nevşehir illerinin yüzölçümü sırasıyla 37,829 km² ve 37,940 km² ve Dm değerlerine sırasıyla 1,686 ve 1,75'tir. Çankırı ve Iğdır illerinin ulaşım ağı hatların sayısı 631 ve Dm değerleri sırasıyla 1,675 ve 1,94'tür. Son olarak Giresun ve Çankırı illerinin ulaşım ağı toplam uzunlukları sırasıyla 165529 m ve 165759 m ve Dm değerleri sırasıyla 1,891 ve 1,675'tir. Buradaki fraktal boyutlar il merkezi sınırı dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu durum il sınırı Dm fraktal boyutları için de geçerlidir.

Cetvel Boyutu (Dr) Analiz Sonuçları

Dr, 1 ile 2 arasında belirlenmiştir. Bu sonuç, Cooper (2003, 2005) gibi literatür inceleme bölümündeki araştırma yaklaşımları ile doğrulanmıştır. Sonuç değerlerin grafiğinde düşey eksen Log N(d) ile yatay eksen Log d arasındaki ilişki negatif eğimli bir çizgi elde edilir ve bu çizginin eğimi Dr'ye eşittir ve bu verinin fraktal olduğu anlamına gelir (**Ek 8**). İl merkezi sınırı ulaşım ağlarının Dr verilerinin Ortalaması 1,178, maksimum Dr 1,373 Bilecik'te ve minimum Dr 1,048 Aydın ve Trabzon'da belirlenmiştir (Şekil 34). İl sınırı ulaşım ağlarında Dr verilerinin Ortalaması 1,177, maksimum Dr 1,335 Erzincan'da ve minimumu Dr 1,023 Edirne'de belirlenmiştir (Şekil 35).



Şekil 34. İl merkezi sınırı cetvel fraktal boyutlarının Dr dağılımı



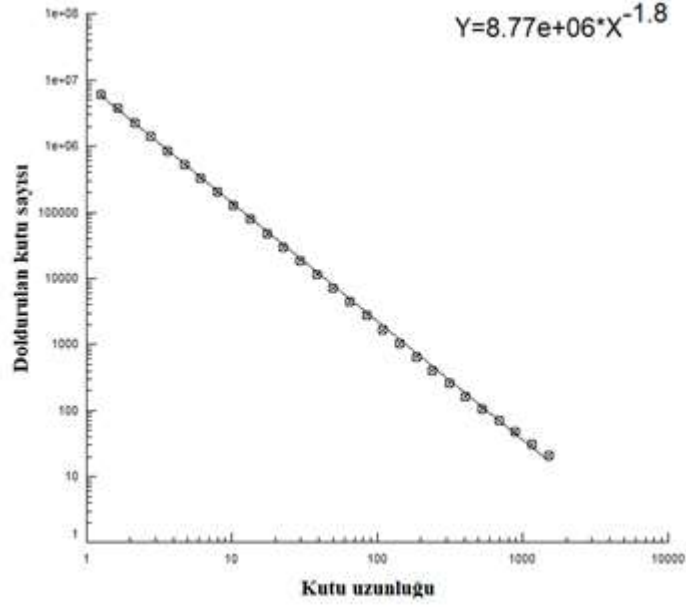
Şekil 35. İl sınırı cetvel fraktal boyutlarının Dr dağılımı

Belirli şehir çiftleri, farklı kentsel biçim parametrelerine sahip olmalarına rağmen aynı Dr fraktal boyutlara sahip olabilirler. Bu duruma örnek olarak; Aydın ve Trabzon ($Dr = 1,048$), Kayseri ve Kırklareli ($Dr = 1,114$), Osmaniye ve Tunceli ($Dr = 1,136$), Siirt ve Sivas ($Dr = 1,144$), Mersin ve Malatya ($Dr = 1,149$), Burdur ve Isparta ($Dr = 1,16$), Diyarbakır ve Mardin ($Dr = 1,215$), Çanakkale ve Hakkari ($Dr = 1,28$) iller belirlenmiştir. Öte yandan, çok benzer kentsel form parametrelerine sahip şehirlerin Dr değerlerinde bazı farklılıklar olabilir. Örneğin; Diyarbakır ve Çorum illerinin araç sayısı sırasıyla 124144 ve 124807 ve Dr değerleri 1,215 ve 1,343'tir. Muş ve Bilecik illerinin nüfusu sırasıyla 180094 ve 180302 ve Dr değerleri 1,147 ve 1,373'dir. Çanakkale ve Nevşehir illerinin yüzölçümü sırasıyla 37,829 km² ve 37,940 km² ve Dm değerlerine sırasıyla 1,28 ve 1,215'tir. Çankırı ve Iğdır illerinin ulaşım ağı hatların sayısı 631 ve Dm değerleri sırasıyla 1,204 ve 1,163'tür. Son olarak Giresun ve Çankırı illerinin ulaşım ağı toplam uzunlukları sırasıyla 165529 m ve 165759 m ve Dm değerleri sırasıyla 1,237 ve 1,204'tür. Buradaki fraktal boyutlar il merkezi sınırı dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu durum il sınırı Dr fraktal boyutları için de geçerlidir.

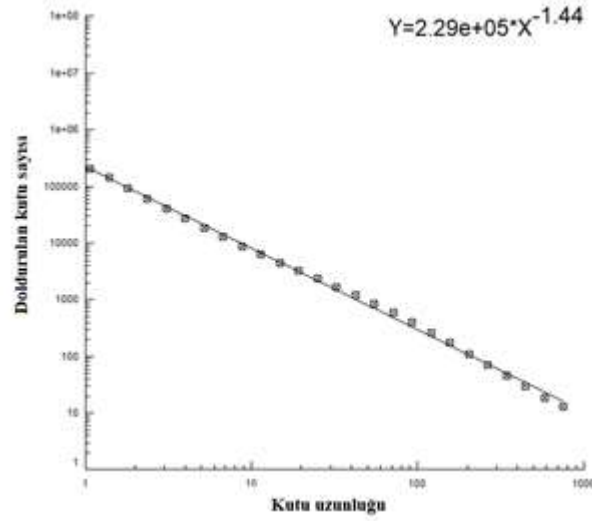
Genel olarak ve fraktal boyut değerleri göz önüne alınmadan, araştırma örneklerinin verileri için her tür fraktal boyut türü fraktaldır. Çünkü aşağıdaki maddelerde belirtildiği gibi tüm eğimler belirli kurallara uymaktadır:

- Tüm Db grafikleri negatif doğrusal çizgi eğrisine sahiptir, bazı noktalar tam olarak doğrusal çizgiyi takip eder ve bu yüksek Db değeri verirken, diğerleri doğrusal çizgiden uzaklaşır ve bu düşük Db değerini verir. Ankara'nın il merkezi sınırı ulaşım

sistemi için en yüksek Db değerini gösterir ve Artvin'in il merkezi sınırı ulaşım sistemi için en düşük Db değerini gösterir (Şekil 36 ve Şekil 37).

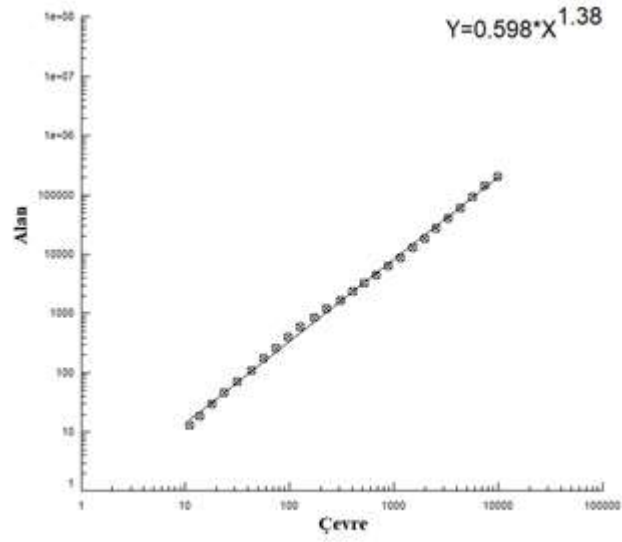


Şekil 36. Ankara'nın il merkezi sınırı ulaşım ağının Db fraktal boyutu

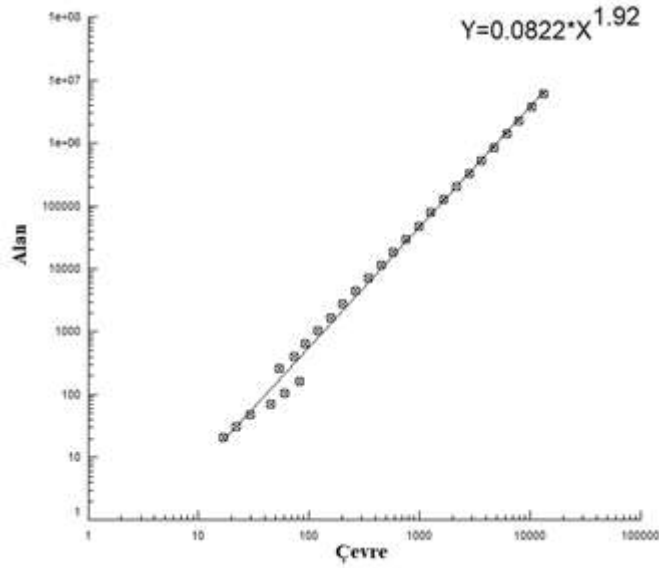


Şekil 37. Artvin'in il merkezi sınırı ulaşım ağının Db fraktal boyutu

- Tüm Dp grafikleri pozitif doğrusal çizgi eğrisine sahiptir, bazı noktalar tam olarak doğrusal çizgiyi takip eder ve bu yüksek Dp değeri verirken, diğerleri doğrusal çizgiden uzaklaşır ve bu düşük Dp değeri verir. Ankara'nın il merkezi sınırı ulaşım sistemi için en yüksek Dp değerini gösterir ve Artvin'in il merkezi sınırı ulaşım sistemi için en düşük Dp değerini gösterir (Şekil 38 ve Şekil 39).

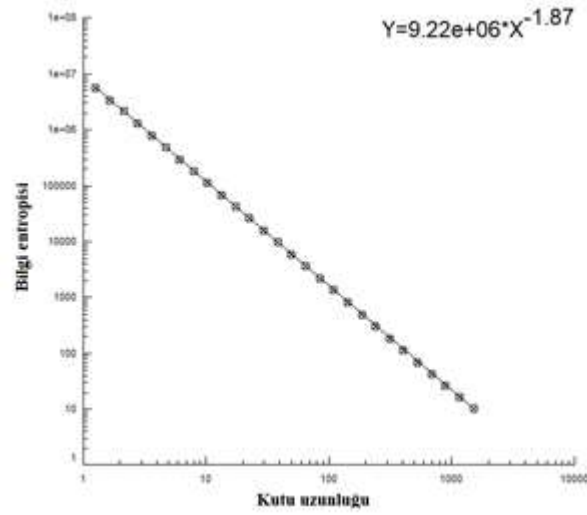


Şekil 38. Artvin'in il merkezi sınırı ulaşım ağının Dp fraktal boyutu

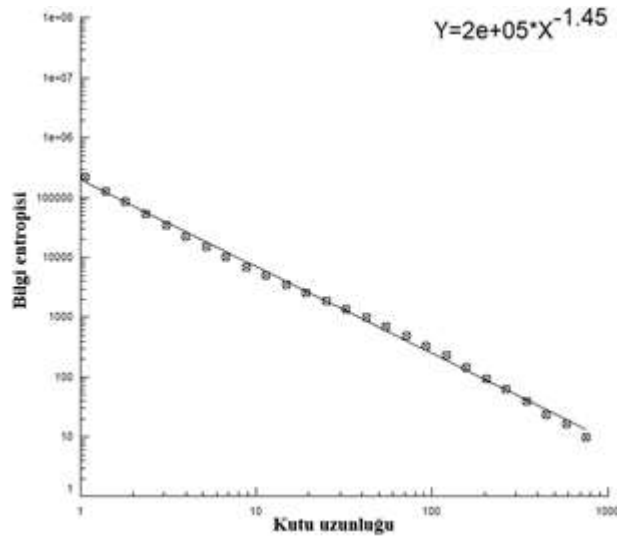


Şekil 39. Ankara'nın il merkezi sınırı ulaşım ağının Dp fraktal boyutu

- Tüm Di grafikleri negatif doğrusal çizgi eğrisine sahiptir, bazı noktalar tam olarak doğrusal çizgiyi takip eder ve bu yüksek Di değeri verirken, diğerleri doğrusal çizgiden uzaklaşır ve bu düşük Di değeri verir. Ankara'nın il merkezi sınırı ulaşım sistemi için en yüksek Di değerini gösterir ve Artvin'in il merkezi sınırı ulaşım sistemi için en düşük Di değerini gösterir (Şekil 40 ve Şekil 41).

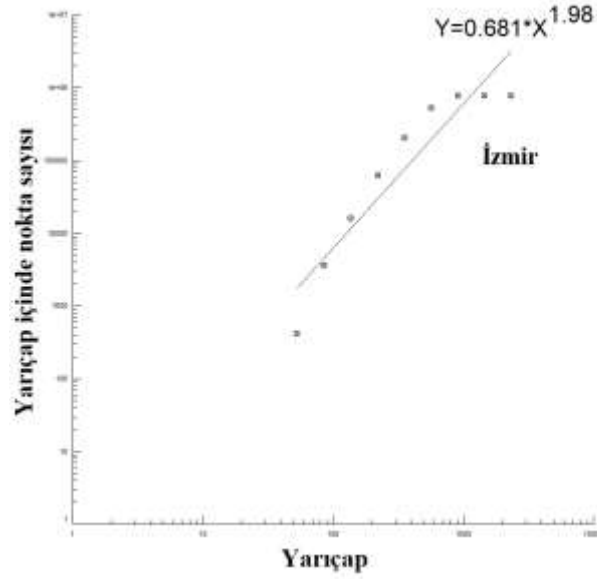


Şekil 40. Ankara'nın il merkezi sınırı ulaşım ağının Di fraktal boyutu

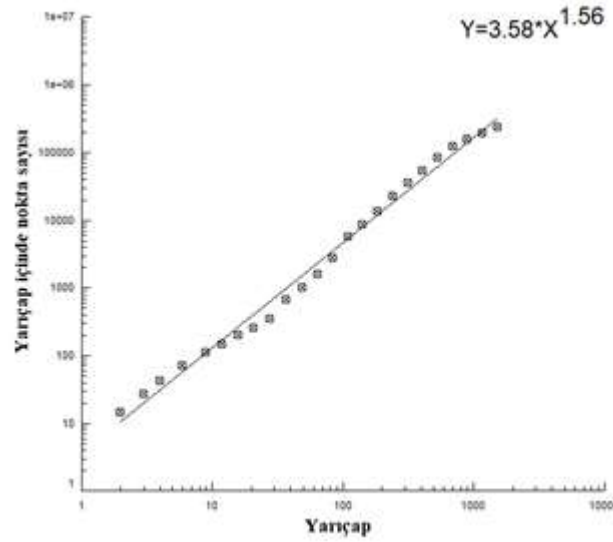


Şekil 41. Artvin'in il merkezi sınırı ulaşım ağının Di fraktal boyutu

- Tüm Dm grafikleri pozitif doğrusal çizgi eğrisine sahiptir, bazı noktalar tam olarak doğrusal çizgiyi takip eder ve bu yüksek Dm değeri verirken, diğerleri doğrusal çizgiden uzaklaşır ve bu düşük Dm değeri verir. İzmir'in il merkezi sınırı ulaşım sistemi için en yüksek Dm değerini gösterir, Gümüşhane'nin il merkezi sınırı ulaşım sistemi için en düşük Dm değerini gösterir (Şekil 42 ve Şekil 43).

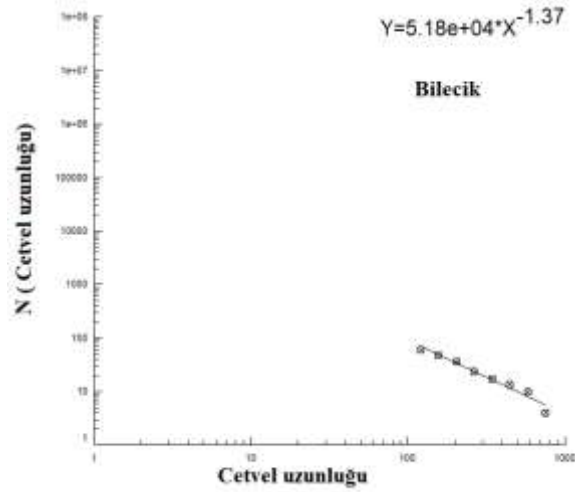


Şekil 42. İzmir'in il merkezi sınırı ulaşım ağının Dm fraktal boyutu

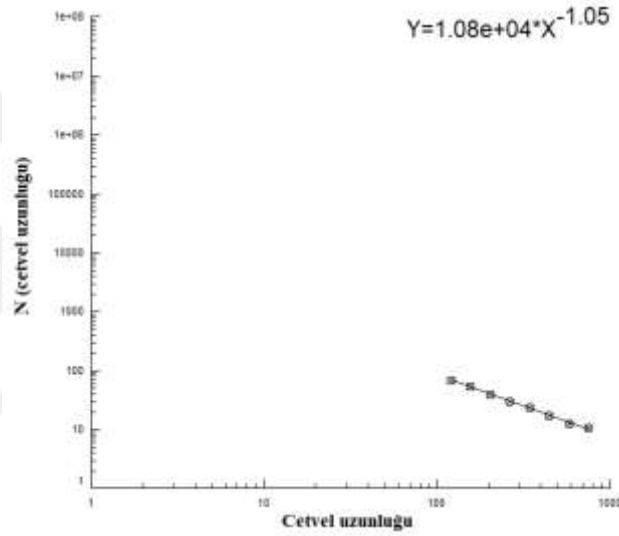


Şekil 43. Gümüşhane'nin il merkezi sınırı ulaşım ağının Dm fraktal

- Tüm Dr grafikleri negatif doğrusal çizgi eğrisine sahiptir, bazı noktalar tam olarak doğrusal çizgiyi takip eder ve bu yüksek Dr değeri verirken, diğerleri doğrusal çizgiden uzaklaşır ve bu düşük Dr değeri verir. Batman'ın il merkezi sınırı ulaşım sistemi için en yüksek Dr değerini gösterir ve Trabzon'un il merkezi sınırı ulaşım sistemi için en düşük Dr değerini gösterir (Şekil 44 ve Şekil 45).



Şekil 44. Bilecik’ın il merkezi sınırı ulaşım ağının Dr fraktal boyutu



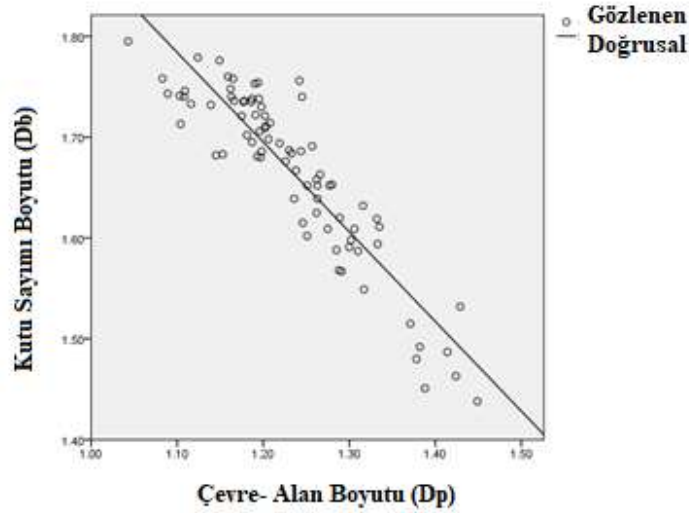
Şekil 45. Trabzon’un il merkezi sınırı ulaşım ağının Dr fraktal

- İl sınırı ulaşım ağının fraktal boyutları analiz edilirken aynı sonuçlar bulunur, örneklerin veri seti için her tür fraktal boyut fraktaldır, çünkü tüm eğimler yukarıda il merkezi sınırı ulaşım ağlarının açıklandığı gibi belirli kurallara uyan sistemlerdir (**Ekler 4-8**).

Genel olarak, tüm fraktal boyut türlerinden, Kütle Boyut (D_m) hem il merkezi sınırı ulaşım ağı hem de il sınırı ulaşım ağı analizinde en yüksek ortalama değere (1,790) sahiptir. Ayrıca, tüm fraktal boyut tiplerinden Cetvel Boyut D_r , il merkezi sınırı ulaşım ağının ve il sınırı ulaşım ağının analizinde en düşük ortalama değere sahiptir. Değerler sırasıyla (1,178) ve (1,177) belirlenmiştir.

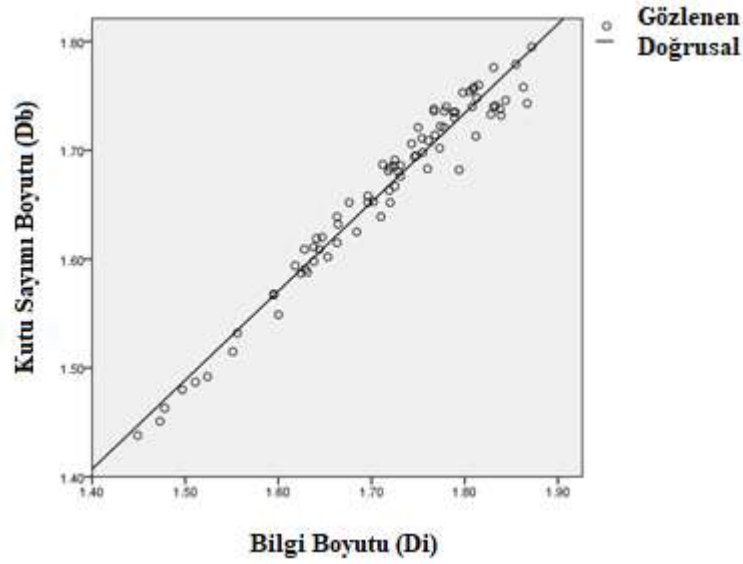
Genel olarak, il merkezi sınırı ulaşım ağları için farklı tipteki fraktal boyutlar arasındaki istatistiksel ilişki aşağıdaki gibi sonuçlandırılmaktadır:

- 81 il için Db'nin il merkezi sınırı ulaşım ağının Dp ile karşılaştırılmasıyla, $R^2 = 0,826$ ve Sig = 0,000 ile doğrusal ilişki bulunmaktadır (Şekil 46). Ayrıca Dp değerlerinin neredeyse % 80'inin il merkezi sınırı ulaşım sistemi için Db değerleri ile temsil edilebileceği anlamına gelir. Başka bir ifade ile bu güçlü bir korelasyon olarak kabul edilir. Bu sonuçtan il merkezi sınırı ulaşım ağlarının fraktal analizinde Db veya Dp kullanmanın aynı sonuçları verebileceği sonucuna varılmıştır.



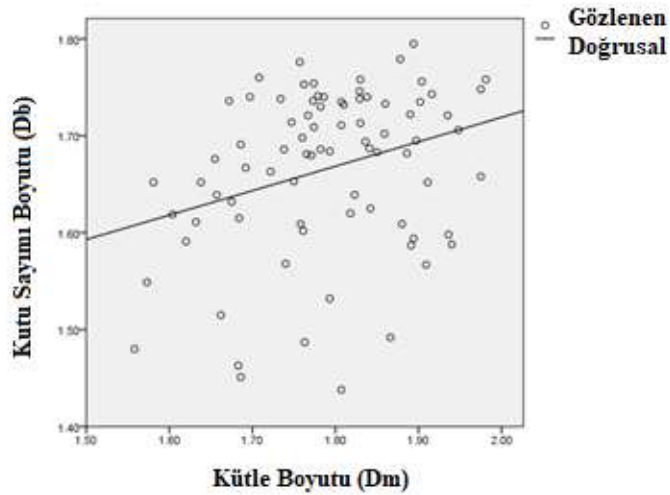
Şekil 46. İl merkezi sınırı ulaşım ağının Db –Dp fraktal boyutu doğrusal ilişkisi

- 81 il için Db'nin il merkezi sınırı ulaşım ağının Di ile karşılaştırılmasıyla, $R^2 = 0,960$ ve Sig = 0,000 ile doğrusal ilişki bulunmaktadır (Şekil 47). Daha önce açıklandığı gibi iki yöntem arasında benzerlik nedeniyle sonuçlar birbirine çok yakındır. Ayrıca Di değerlerinin neredeyse % 96'sının il merkezi sınırı ulaşım sistemi için Db değerleri ile temsil edilebileceği anlamına gelir. Başka bir ifade ile bu güçlü bir korelasyon olarak kabul edilir. Bu sonuçtan il merkezi sınırı ulaşım ağlarının fraktal analizinde Db veya Di kullanmanın aynı sonuçları verebileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 47. İl merkezi sınırı ulaşım ağının Db –Di fraktal boyutu doğrusal ilişkisi

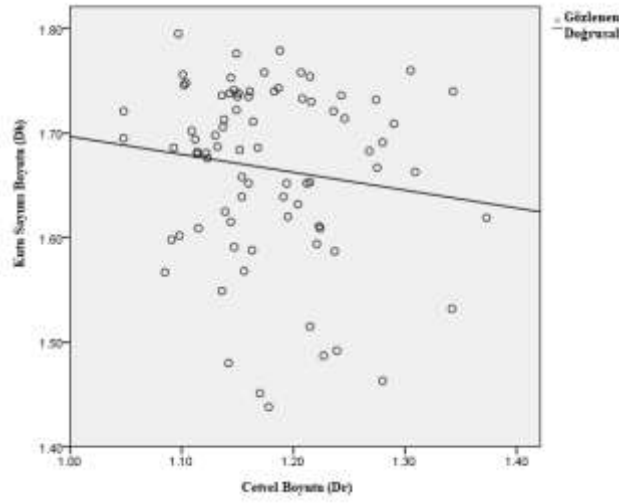
- 81 il için Db'nin il merkezi sınırı ulaşım ağının Dm ile karşılaştırılmasıyla, $R^2 = 0,091$ ve $Sig = 0,006$ ile doğrusal ilişki bulunmaktadır (Şekil 48). Ayrıca Dm değerlerinin neredeyse% 9'unun il merkezi sınırı ulaşım sistemi için Db değerleri ile temsil edilebileceği anlamına gelir. Başka bir ifade ile bu çok zayıf bir korelasyon olarak kabul edilir. Bu sonuçtan il merkezi sınırı ulaşım ağlarının fraktal analizinde Db veya Dm kullanmanın aynı sonuçları vermeyeceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 48. İl merkezi sınırı ulaşım ağının Db –Dm fraktal boyutu doğrusal

- 81 il için Db'nin il merkezi sınırı ulaşım ağının Dr ile karşılaştırılmasıyla, $R^2 = 0,019$ ve $Sig = 0,221$ ile doğrusal ilişki bulunmaktadır (Şekil 49). Ayrıca Dr değerlerinin neredeyse% 0,8'inin il merkezi sınırı ulaşım sistemi için Db değerleri ile temsil edilebileceği anlamına gelir. Başka bir ifade ile bu çok zayıf bir korelasyon olarak

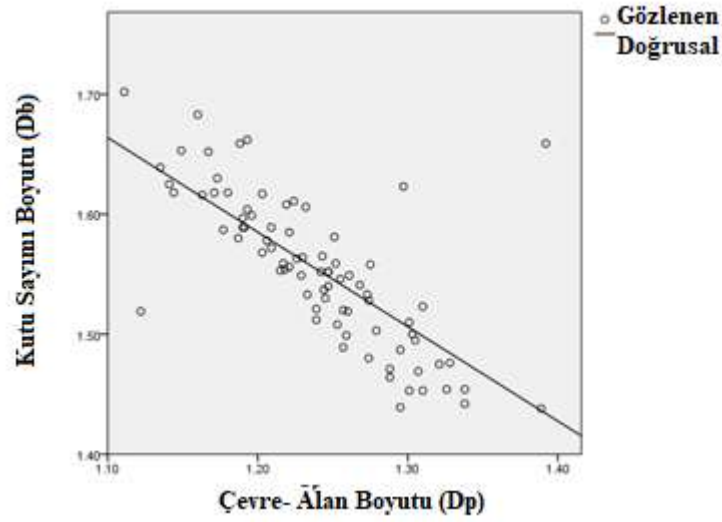
kabul edilir. Bu sonuçtan il merkezi sınırı ulaşım ağlarının fraktal analizinde Db veya Dr kullanmanın aynı sonuçları vermeyeceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 49. İl merkezi sınırı ulaşım ağının Db –Dr fraktal boyutu doğrusal ilişkisi

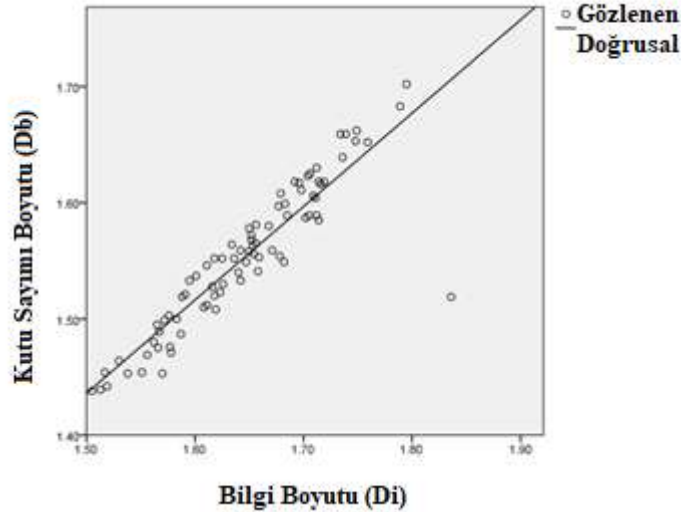
Genel olarak, il sınırı ulaşım ağları için farklı tipteki fraktal boyutlar arasındaki istatistiksel ilişki aşağıdaki gibi sonuçlandırılmaktadır:

- 81 il için Db'nin il sınırı ulaşım ağının Dp ile karşılaştırılmasıyla, $R^2 = 0,538$ ve $Sig = 0,000$ ile doğrusal ilişki bulunmaktadır (Şekil 50). Ayrıca Dp değerlerinin neredeyse% 53,8'inin il sınırı ulaşım sistemi için Db değerleri ile temsil edilebileceği anlamına gelir. Başka bir ifade ile bu orta bir korelasyon olarak kabul edilir. Bu sonuçtan il sınırı ulaşım ağlarının fraktal analizinde Db veya Dp kullanmanın aynı sonuçları vermeyeceği sonucuna varılmıştır.



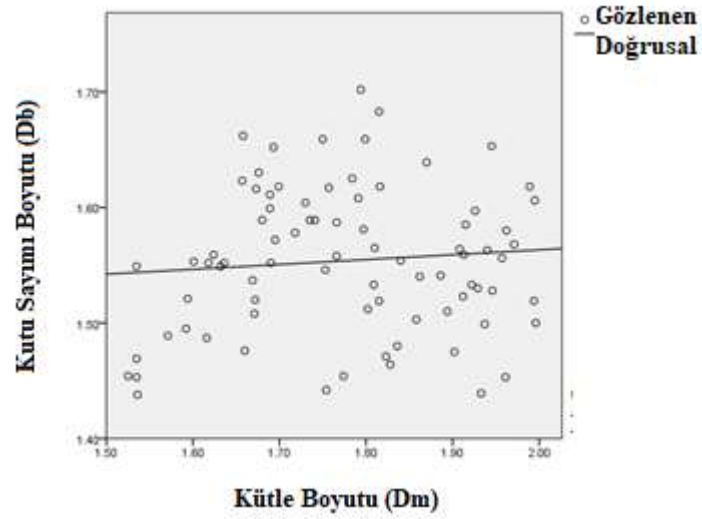
Şekil 50. İl sınırı ulaşım ağının Db –Dp fraktal boyutu doğrusal ilişkisi

- 81 il için Db'nin il sınırı ulaşım ağının Di ile karşılaştırılmasıyla, $R^2 = 0,815$ ve $Sig = 0,000$ ile doğrusal ilişki bulunmaktadır (Şekil 51). Daha önce açıklandığı gibi iki yöntem arasında benzerlik olması nedeniyle sonuçlar birbirine yakındır. Ayrıca Di değerlerinin neredeyse% 81,5'inin il sınırı ulaşım sistemi için Db değerleri ile temsil edilebileceği anlamına gelir. Başka bir ifade ile bu güçlü bir korelasyon olarak kabul edilir. Bu sonuçtan il sınırı ulaşım ağlarının fraktal analizinde Db veya Di kullanmanın aynı sonuçları verebileceği sonucuna varılmıştır.



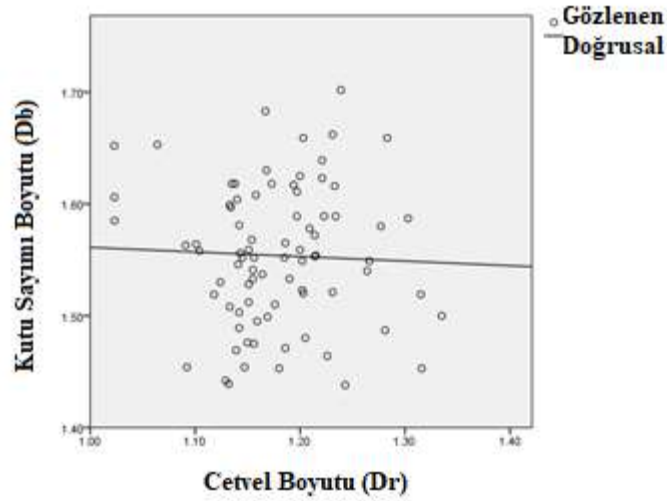
Şekil 51. İl sınırı ulaşım ağının Db –Di fraktal boyutu doğrusal ilişkisi

- 81 il için Db'nin il sınırı ulaşım ağının Dm ile karşılaştırılmasıyla, $R^2 = 0,008$ ve $Sig = 0,430$ ile doğrusal ilişki olmadığı belirlenmiştir (Şekil 52). Bu sonuçtan il sınırı ulaşım ağlarının fraktal analizinde Db veya Dm kullanmanın aynı sonuçları vermeyeceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 52. İl sınırı ulaşım ağının Db –Dm fraktal boyutu doğrusal ilişkisi

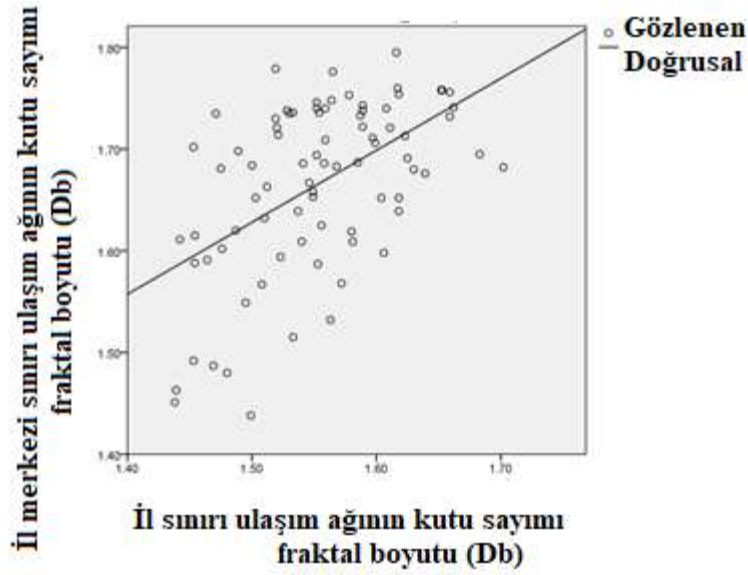
- 81 il için Db'nin il sınırı ulaşım ağının Dr ile karşılaştırılmasıyla, $R^2 = 0,002$ ve $Sig = 0,718$ ile doğrusal ilişki olmadığı belirlenmiştir (Şekil 53). Bu sonuçtan il sınırı ulaşım ağlarının fraktal analizinde Db veya Dr kullanmanın aynı sonuçları vermeyeceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 53. İl sınırı ulaşım ağının Db –Dr fraktal boyutu doğrusal ilişkisi

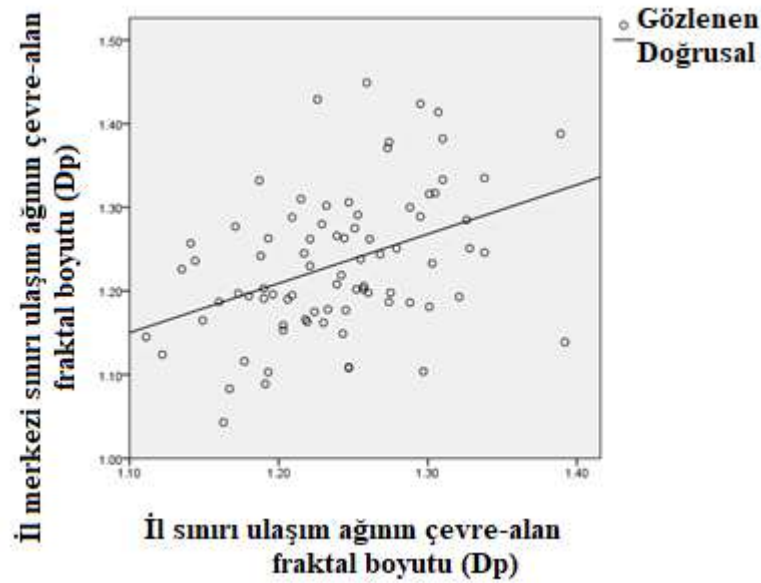
81 il için il merkezi sınırı ve il sınırı ulaşım ağlarının farklı fraktal boyutları arasındaki ilişki aşağıdaki gibi sonuçlandırılmıştır:

- 81 il için Db'nin il merkezi sınırı ulaşım ağı ile Db'nin il sınırı ulaşım ağının karşılaştırılmasıyla, $R^2 = 0,277$ ve $Sig = 0,00$ ile doğrusal ilişki belirlenmiştir ve bu zayıf bir korelasyon olarak kabul edilir (Şekil 54).



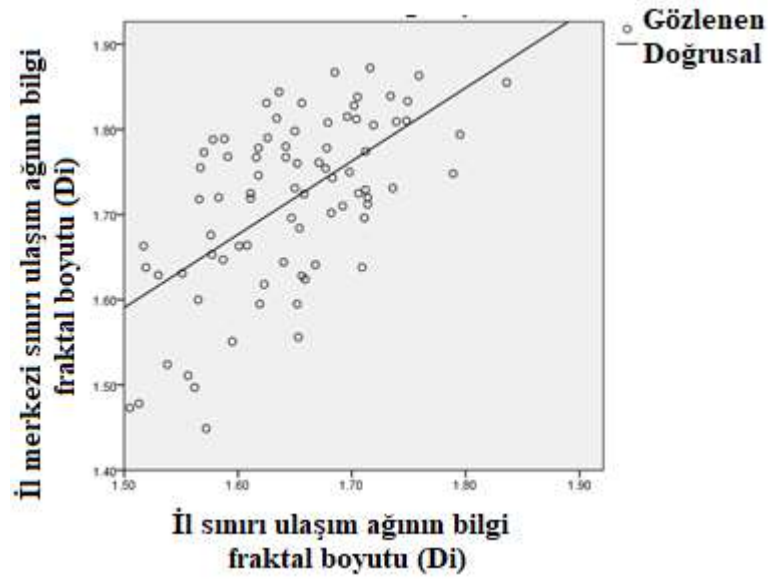
Şekil 54. İl merkezi sınırı ulaşım ağının Db fraktal boyutu - il sınırı ulaşım ağının Db fraktal boyutu doğrusal ilişkisi

- 81 il için Dp'nin il merkezi sınırı ulaşım ağı ile Dp'nin il sınırı ulaşım ağının karşılaştırılmasıyla, $R^2 = 0,160$ ve $Sig = 0,00$ ile doğrusal ilişki belirlenmiştir ve bu zayıf bir korelasyon olarak kabul edilir (Şekil 45).



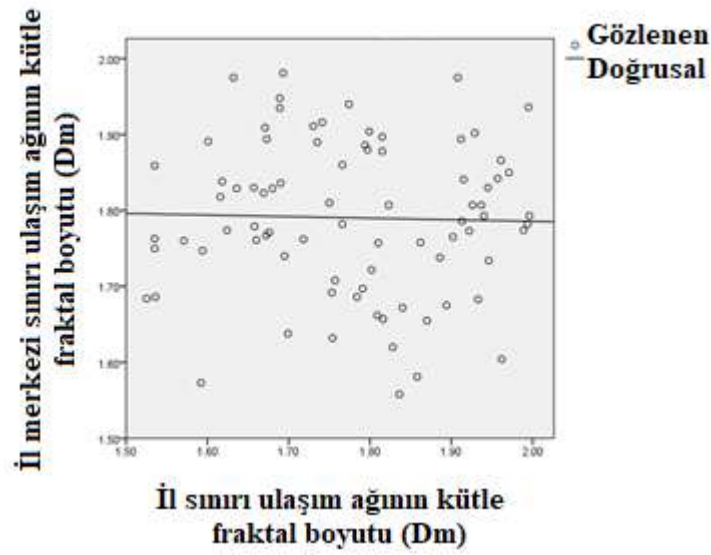
Şekil 55. İl merkezi sınırı ulaşım ağının Dp fraktal boyutu - il sınırı ulaşım ağının Dp fraktal boyutu doğrusal ilişkisi

- 81 il için Di'nin il merkezi sınırı ulaşım ağı ile Di'nin il sınırı ulaşım ağının karşılaştırılmasıyla, $R^2 = 0,361$ ve $Sig = 0,000$ ile doğrusal ilişki belirlenmiştir ve bu zayıf bir korelasyon olarak kabul edilir (Şekil 56).



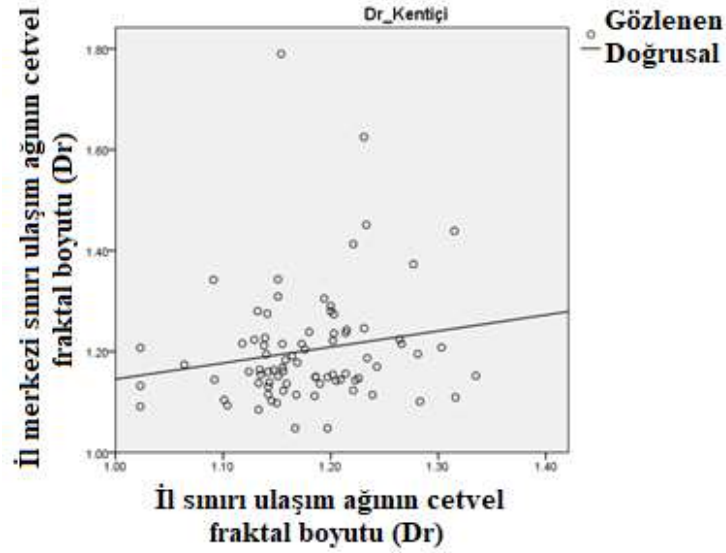
Şekil 56. İl merkezi sınırı ulaşım ağının Di fraktal boyutu - il sınırı ulaşım ağının Di fraktal boyutu doğrusal ilişkisi

- 81 il için Dm'nin il merkezi sınırı ulaşım ağı ile Dm'nin il sınırı ulaşım ağının karşılaştırılmasıyla, $R^2 = 0,001$ ve Sig = 0,809 ile doğrusal ilişki belirlenmiştir ve bu zayıf bir korelasyon olarak kabul edilir (Şekil 57).



Şekil 57. İl merkezi sınırı ulaşım ağının Dm fraktal boyutu - il sınırı ulaşım ağının Dm fraktal boyutu doğrusal ilişkisi

- 81 il için Dr'nin il merkezi sınırı ulaşım ağı ile Dr'nin il sınırı ulaşım ağının karşılaştırılmasıyla, $R^2 = 0,029$ ve Sig = 0,126 ile doğrusal ilişki belirlenmiştir ve bu zayıf bir korelasyon olarak kabul edilir (Şekil 58).



Şekil 58. İl merkezi sınırı ulaşım ağının Dr fraktal boyutu - il sınırı ulaşım ağının Dr fraktal boyutu doğrusal ilişkisi

Bu çalışmada raporda belirtilen 24 şehire Ankarada eklenerek ulaşım sistemi bakımında şehirlerin karşılaştırılması yapılmıştır (Şekil 59).

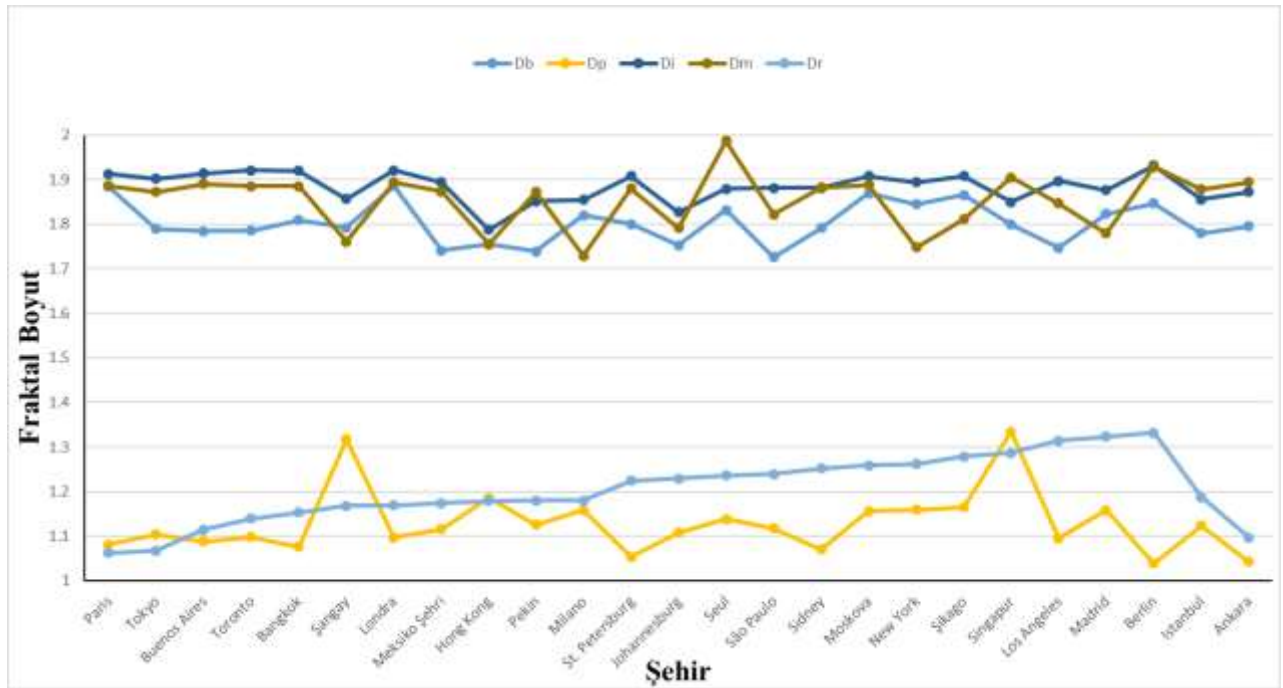


Şekil 59. Dünyadan seçilmiş 23 şehirler (Knupfer *et al.* 2018)

Türkiye'nin bazı şehirlerini kıyaslamak için, İstanbul ve Ankara il merkezi sınırı nüfusa göre seçilmektedir (her birinin il merkezi sınırı nüfusu 5 milyondan fazladır). Dünyadan seçilmiş şehirlerin tüm FD değerleri 1 ile 2 arasında bulunmuştur ve arasındaki istatistiksel ilişki aşağıdaki gibi:

- Db değerleri 1,726-1.886 arasındadır. Maksimum Db Londra için, minimum Db São Paulo için,
- Dp değerleri 1,038 ile 1,334 arasındadır. Maksimum Dp Singapur için, minimum Dp Berlin için,

- Di değerleri 1,787-1,931 arasındadır. Maksimum Di Berlin için, minimum Di Hong Kong için,
- Dm değerleri 1,729-1,987 arasındadır. Maksimum Dm Seul için, minimum Dm Milan için,
- Dr değerleri 1,062-1,332 arasındadır. Maksimum Dr Berlin için, minimum Dr Paris için belirlenmiştir.
- 25 şehrin Db, Di ve Dm değerlerini 2'ye yakın olduğu belirlenmiştir. Bu yöntemler arasında benzerlikten dolayı sonuçlar birbirine çok yakındır. Ayrıca Dp ve Dr değerlerini 1'e yakın olduğu belirlenmiştir (Şekil 60).



Şekil 60. 25 il merkezi sınırı ulaşım ağının Db, Dp, Di, Dm ve Dr fraktal boyutları

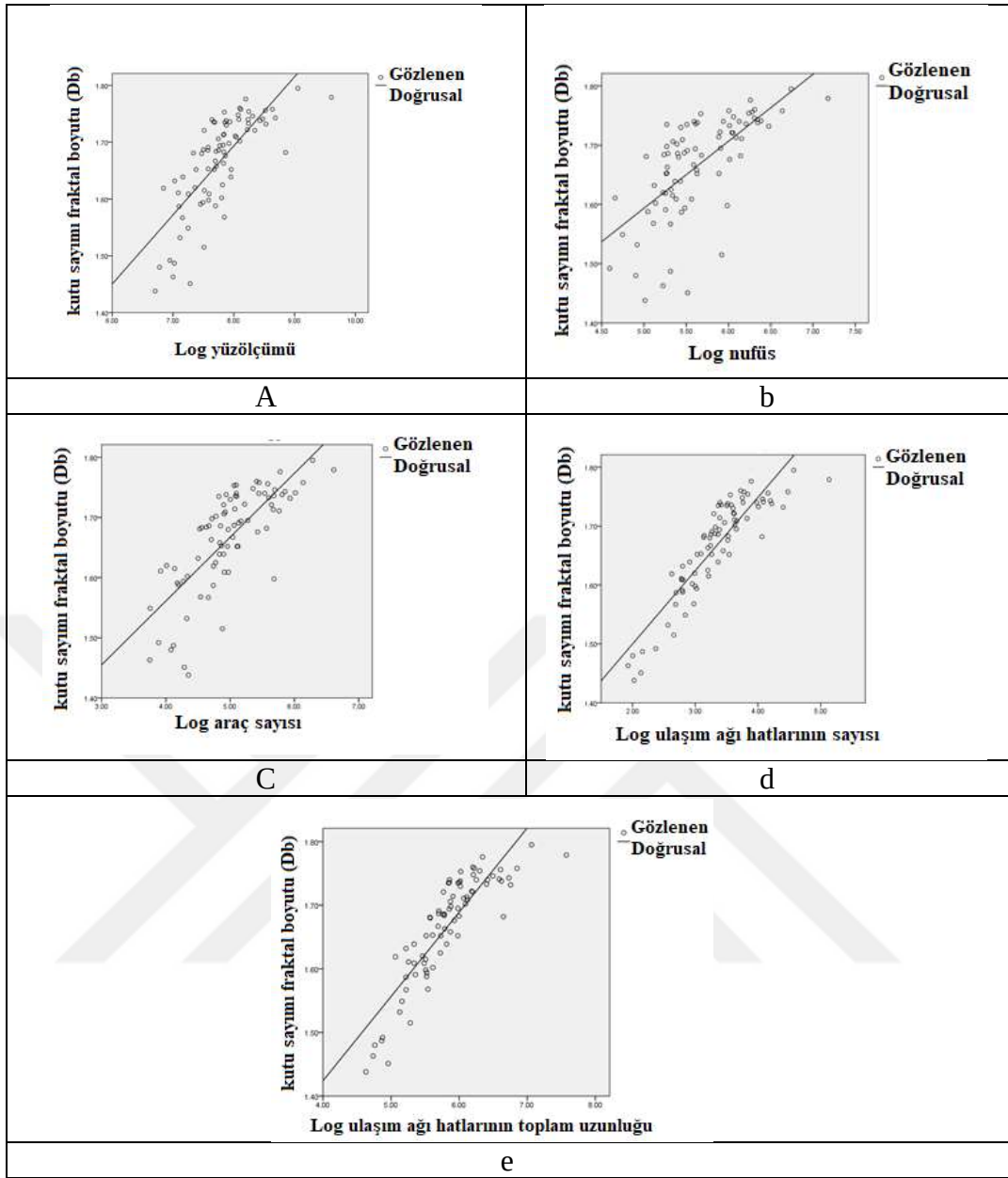
- Analiz sonuçlarından, fraktal yaklaşım açısından Ankara ve İstanbul'un il merkezi sınırı ulaşım sistemlerinin en iyi 23 şehir il merkezi sınırı ulaşım sistemleri ile aynı seviyede olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, şehirler arasındaki yeni karşılaştırma yaklaşımını vurgulamakta ve Türkiye'deki büyük şehirlere, il merkezi sınırı ulaşım ağının mekânsal dağılımına göre dünyanın en gelişmiş şehirleri arasında yer aldığı belirlenmiştir.

Göstergeler ve Fraktal Boyutları Modellemesi Sonuçları

Farklı özelliklere sahip bazı şehirler aynı fraktal boyuta sahip olabildiği ve benzer özelliklere sahip şehirler farklı fraktal boyuta sahip olabildiği için fraktal boyut tek başına ulaşım ağlarının fraktal geometrisini ortaya çıkaramaz. Bu nedenle önceki çalışmalarda belirtildiği gibi fraktal geometri ile şehir yüzölçümü, nüfus vb. göstergeler ile bağlantı kurmak gerekir (Lu and Tang 2004; Jayasinghe and Jezaan 2014; Sreelekha *et al.* 2015; Peiravian *et al.* 2015). Farklı fraktal boyutları hesaplandıktan sonra hesaplanan fraktal boyutlar ile göstergeler arasındaki istatistiksel ilişkiler modellenmiştir. İstatistiksel analizi için SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) yazılımı kullanılmıştır. Fraktal boyutlar ile şehirlere ait bazı göstergeler arasındaki ilişkiler istatistiksel analiz ile belirlenmiştir. Bu göstergeler sırasıyla; nüfus, araç sayısı, yüzölçümü, ulaşım ağı hatlarının toplamı ve ulaşım ağı hatlarının toplam uzunluklarıdır. Fraktal boyutlar bağımlı değişken, göstergeler bağımsız değişken olarak analiz edilmiştir. Sadece doğrusal modellerin geliştirildiğini ve tüm fonksiyon türlerinin doğrusal fonksiyonla karşılaştırılırken neredeyse aynı R^2 değerine sahip oldukları belirlenmiştir. **Ek 9**'da belirtildiği gibi sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, fraktal boyutlar ile tüm göstergelerin kullanılarak oluşturulan doğrusal modellerin sonuçları elde edilmiştir (**Ek 10**).

İl merkezi sınırı ulaşım ağları için sonuçlar aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

1. Db ile ulaşım ağı hatlarının sayısı arasında en yüksek korelasyon $R^2 = 0,800$ ve Db ile nüfus arasında en düşük korelasyon $R^2 = 0,456$ bulunmuştur. Tüm R^2 değerleri 0,45'ten büyüktür, yani genel olarak Db ile tüm değişkenler ayrı ayrı modellendiğinde aralarında orta derecede pozitif doğrusal korelasyon olduğu belirlenmiştir. Db ile tüm değişkenler modellendiğinde $R^2=0,881$ 'e yükselmiştir. İl merkezi sınırı ulaşım ağı için Db ile il merkezi sınırı göstergeleri her biri arasındaki doğrusal ilişki gösterilmiştir (Şekil 61 a, b, c, d,e).

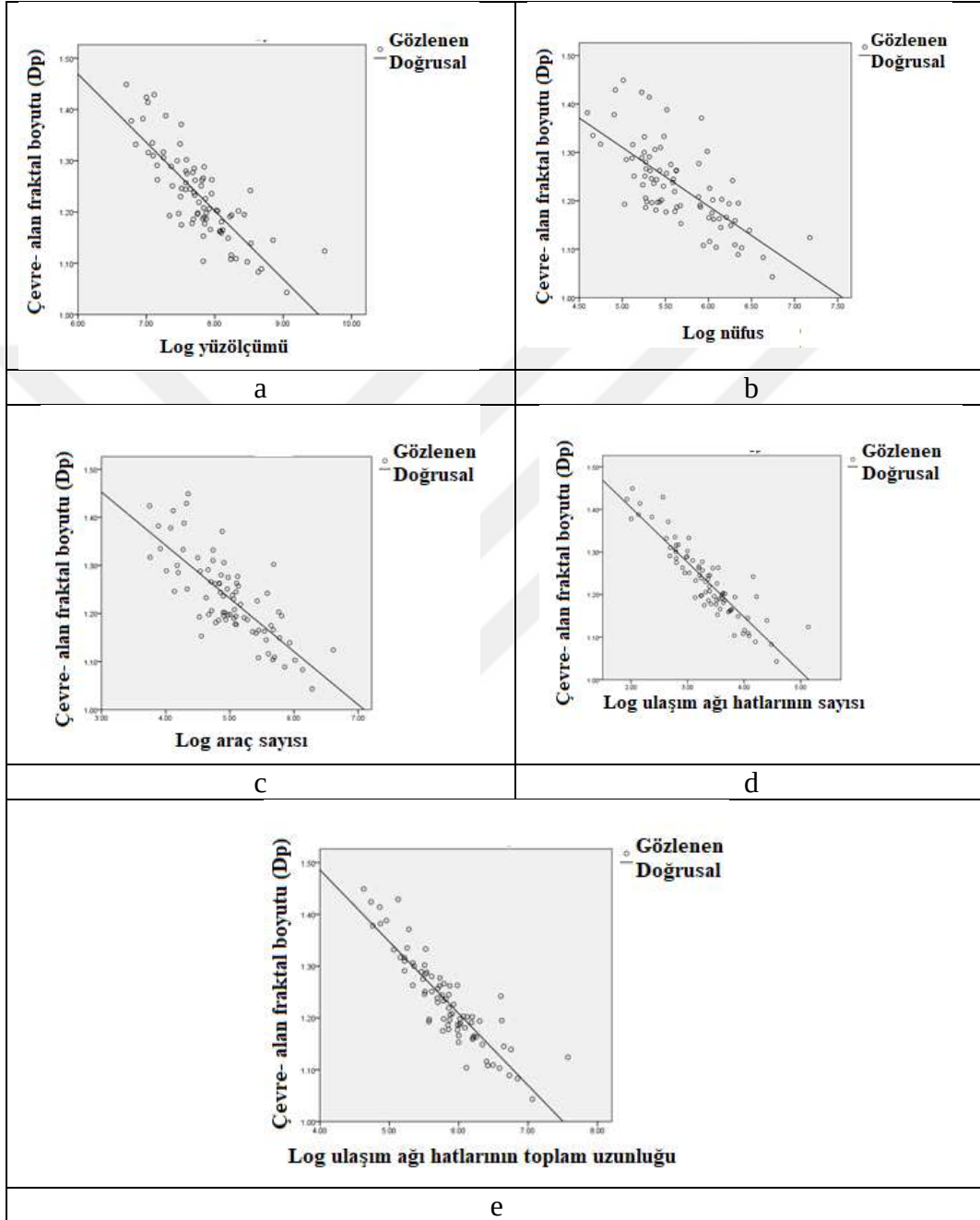


Şekil 61. Db ile il merkezi sınırı göstergeleri arasındaki doğrusal ilişkiler

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar önceki çalışmaların sonuçları ile desteklenmektedir. Lu and Tang (2004), ABD'de Teksas eyaletinin 11 ilçesindeki karayolu sistemlerinin Db'si ile şehirlerin toplam nüfusu, konut sayısı, nüfus yoğunluğu ve konut yoğunluğu arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmada, Db ile bu modellerin her birinin logu arasındaki doğrusal regresyondan kaynaklanan belirleme katsayısı (R^2) değerlerinin sırasıyla 0,7158, 0,7019, 0,0676 ve 0,0464 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Shen (2002) 20 ABD şehrinin il merkezi sınırı yüzölçümleri ve il merkezi sınırı nüfusu ile Db arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Çalışmada, Db ile il merkezi sınırı yüzölçümü ve il merkezi sınırı nüfusu arasındaki R^2 sırasıyla 0,6404 ve 0,8761 olduğunu göstermiştir.

2. Dp ile ulaşım ağı hatlarının sayısı arasında en yüksek korelasyon $R^2 = 0,816$ ve Dp ile nüfus arasında en düşük korelasyon $R^2 = 0,502$ bulunmuştur. Tüm R^2 değerleri

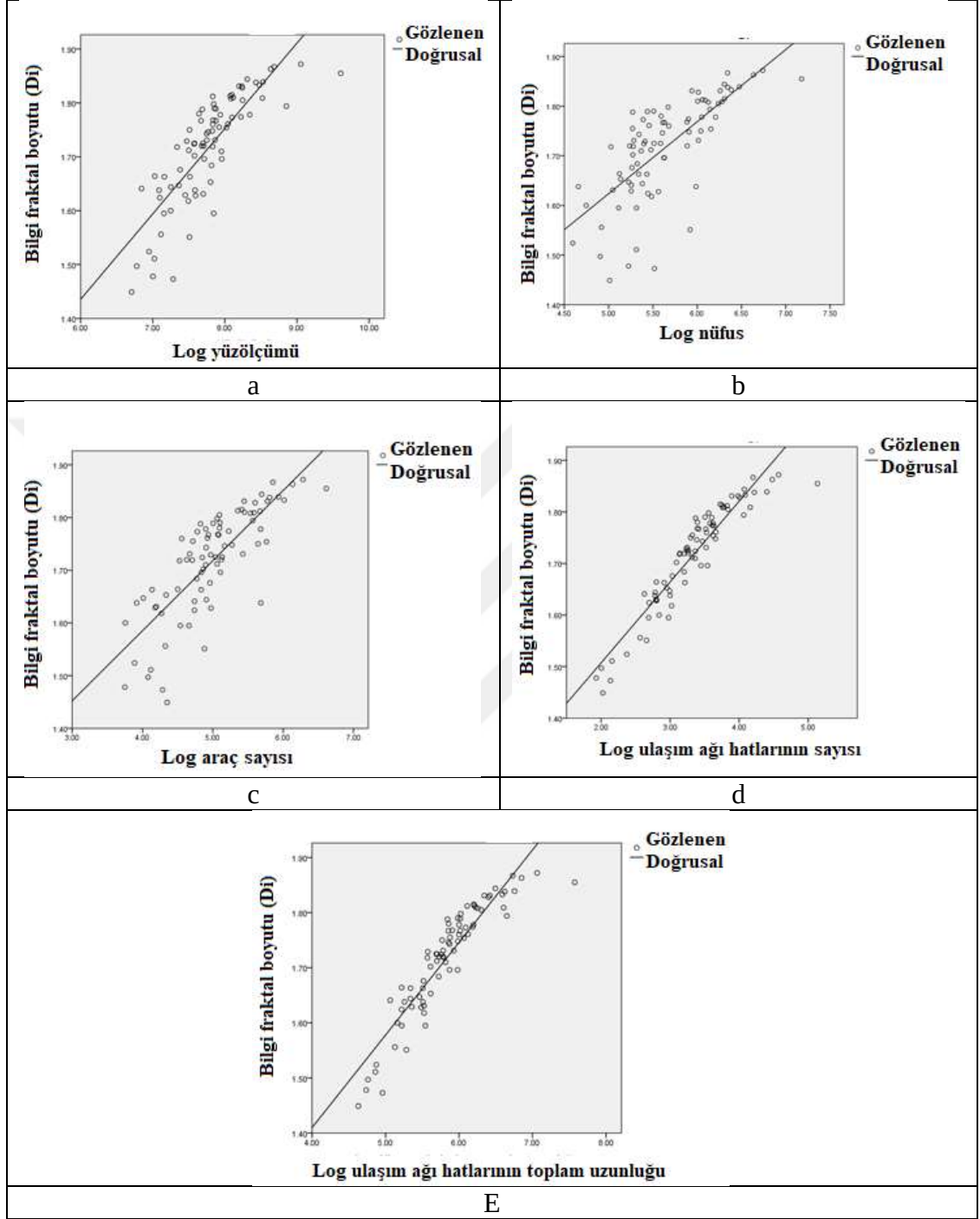
0,50'den büyüktür, yani genel olarak Dp ile tüm değişkenler ayrı ayrı modellendiğinde aralarında orta derecede negatif doğrusal korelasyon olduğu belirlenmiştir. Dp ile tüm değişkenler modellendiğinde $R^2=0,658$ 'e düşmüştür. İl merkezi sınırı ulaşım ağı için Dp ile il merkezi sınırı göstergeleri her biri arasındaki doğrusal ilişki gösterilmiştir (Şekil 62 a, b, c, d, e).



Şekil 62. Dp ile il merkezi sınırı göstergeleri arasındaki doğrusal ilişkiler

- Di ile ulaşım ağı hatlarının sayısı arasında en yüksek korelasyon $R^2 = 0,884$ ve Di ile nüfus arasında en düşük korelasyon $R^2 = 0,523$ bulunmuştur. Tüm R^2 değerleri 0,50'den büyüktür, yani genel olarak Di ile tüm değişkenler ayrı ayrı modellendiğinde aralarında orta derecede pozitif doğrusal korelasyon olduğu

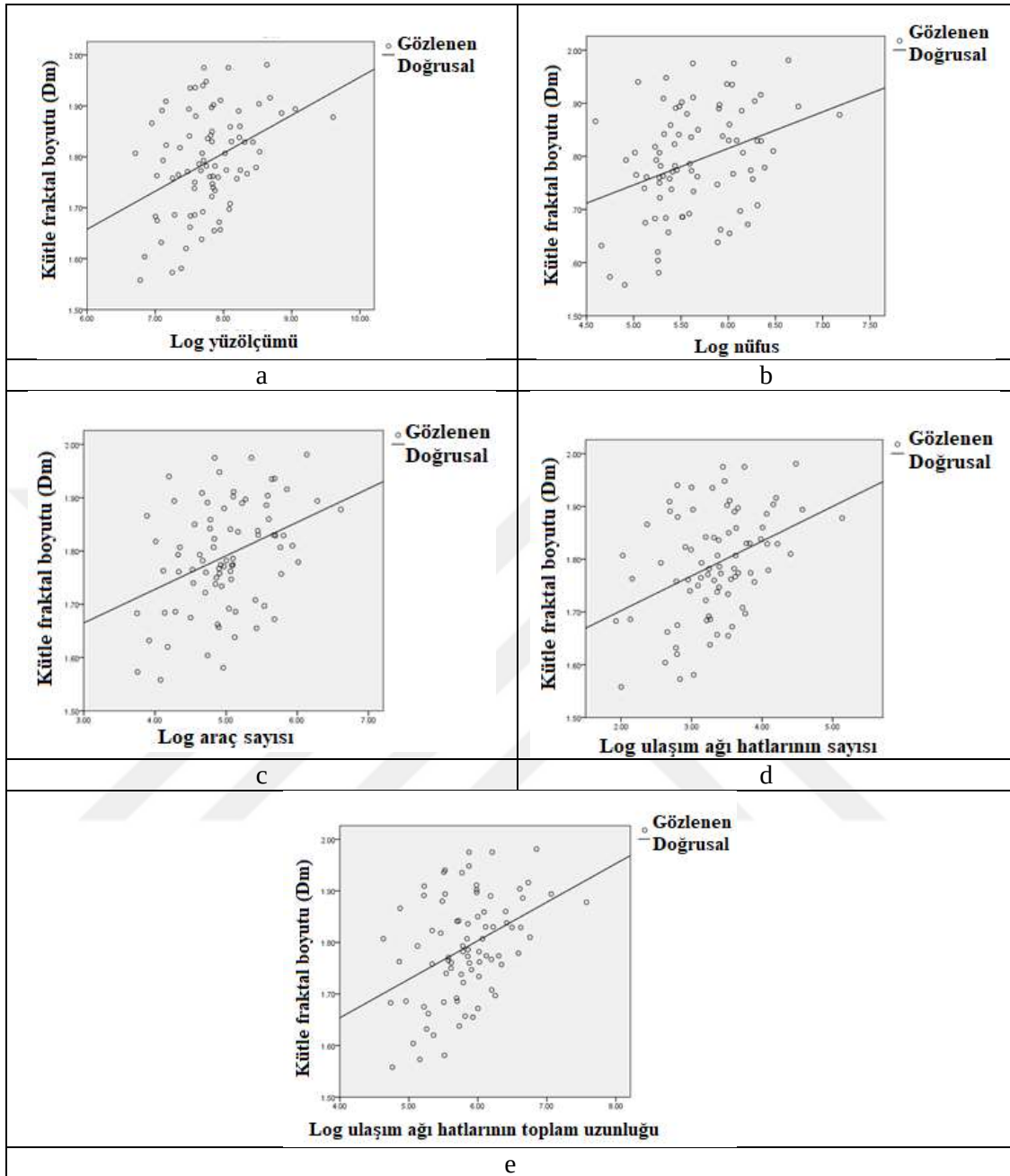
belirlenmiştir. Di ile tüm değişkenler modellendiğinde $R^2=0,928$ 'e yükselmiştir. İl merkezi sınırı ulaşım ağı için Di ile il merkezi sınırı sınırı göstergeleri her biri arasındaki doğrusal ilişki gösterilmiştir (Şekil 63 a, b, c, d, e).



Şekil 63. Di ile il merkezi sınırı göstergeleri arasındaki doğrusal ilişkiler

4. Dm ile ulaşım ağı hatlarının toplam uzunlukları arasında en yüksek korelasyon $R^2 = 0,168$ ve Di ile nüfus arasında en düşük korelasyon $R^2 = 0,117$ bulunmuştur. Tüm R^2 değerleri 0,20'den küçüktür, yani genel olarak Dm ile tüm değişkenler ayrı ayrı modellendiğinde aralarında düşük derecede pozitif doğrusal korelasyon olduğu belirlenmiştir. Dm ile tüm değişkenler modellendiğinde $R^2=0,187$ 'e yükselmiştir. İl

merkezi sınırı ulaşım ağı için Dm ile il merkezi sınırı göstergeleri her biri arasındaki doğrusal ilişki gösterilmiştir (Şekil 64 a, b, c, d, e).

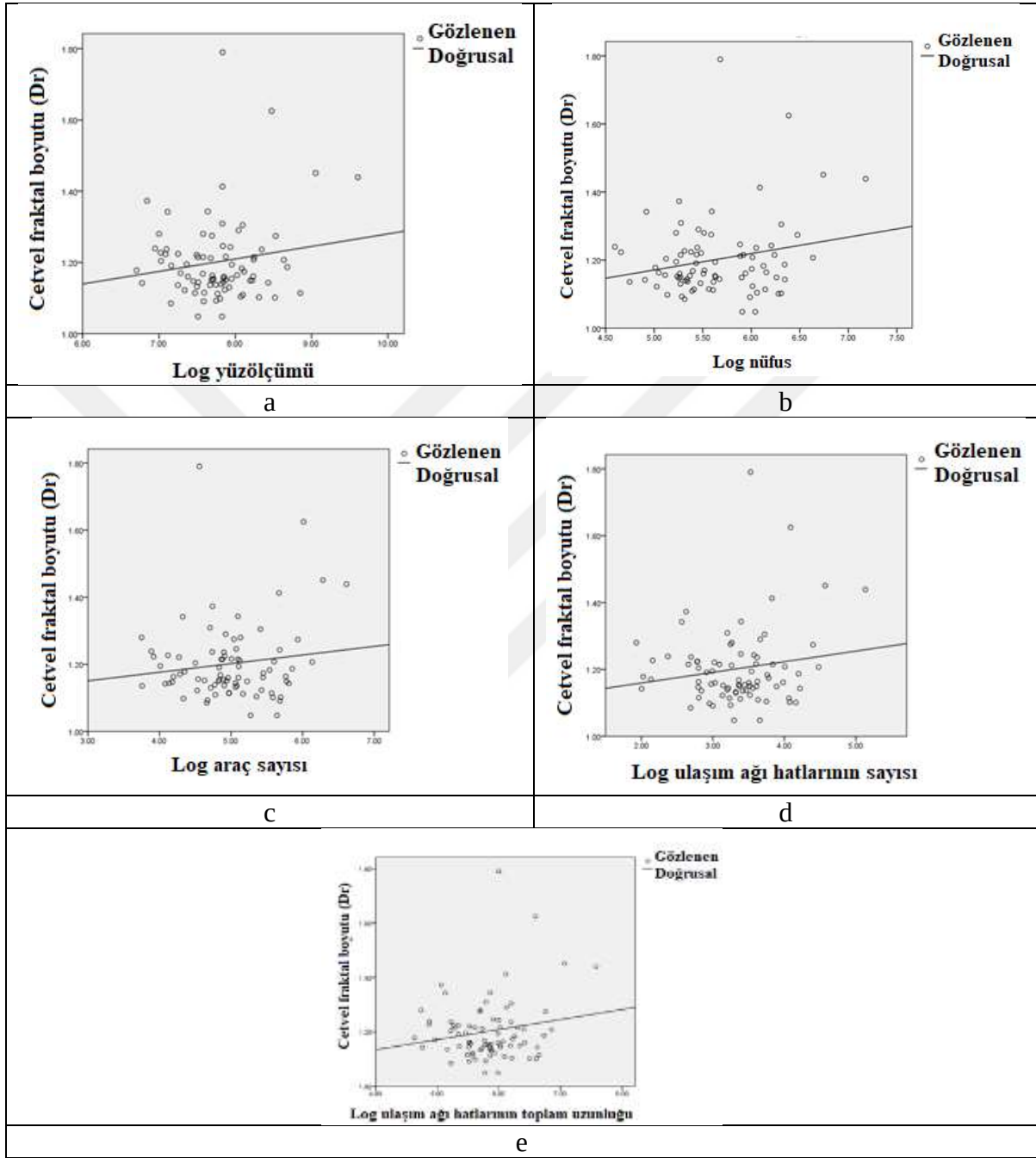


Şekil 64. Dm ile il merkezi sınırı göstergeleri arasındaki doğrusal ilişkiler

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar önceki çalışmaların sonuçları ile desteklenmektedir. Jayasinghe and Jeza (2014), Sri Lanka’da Colombo Şehrideki farklı dönemler için Dm ile yol uzunluğu ve yerleşim alan yüzölçümü arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmada, Dm ile yol uzunluğu ve yerleşim alan yüzölçümü arasındaki regresyon katsayısı (R^2) değerleri farklı dönemlerde sırasıyla 0,53; 0,68; 0,63; 0,76; 0,78 ve 0,79 olduğu belirlenmiştir.

- Dr ile nüfus arasında en yüksek korelasyon $R^2 = 0,044$ ve Dr ile araç sayısı arasında en düşük korelasyon $R^2 = 0,018$ bulunmuştur. Tüm R^2 değerleri 0,10'dan küçüktür, yani genel olarak Dr ile tüm değişkenler ayrı ayrı modellendiğinde aralarında düşük

derecede pozitif doğrusal korelasyon olduğu belirlenmiştir. Dr ile tüm değişkenler modellendiğinde $R^2=0.089$ 'a yükselmiştir. İl merkezi sınırı ulaşım ağı için Dr ile il merkezi sınırı göstergeleri her biri arasındaki doğrusal ilişki gösterilmiştir (Şekil 65 a, b, c,d , e).

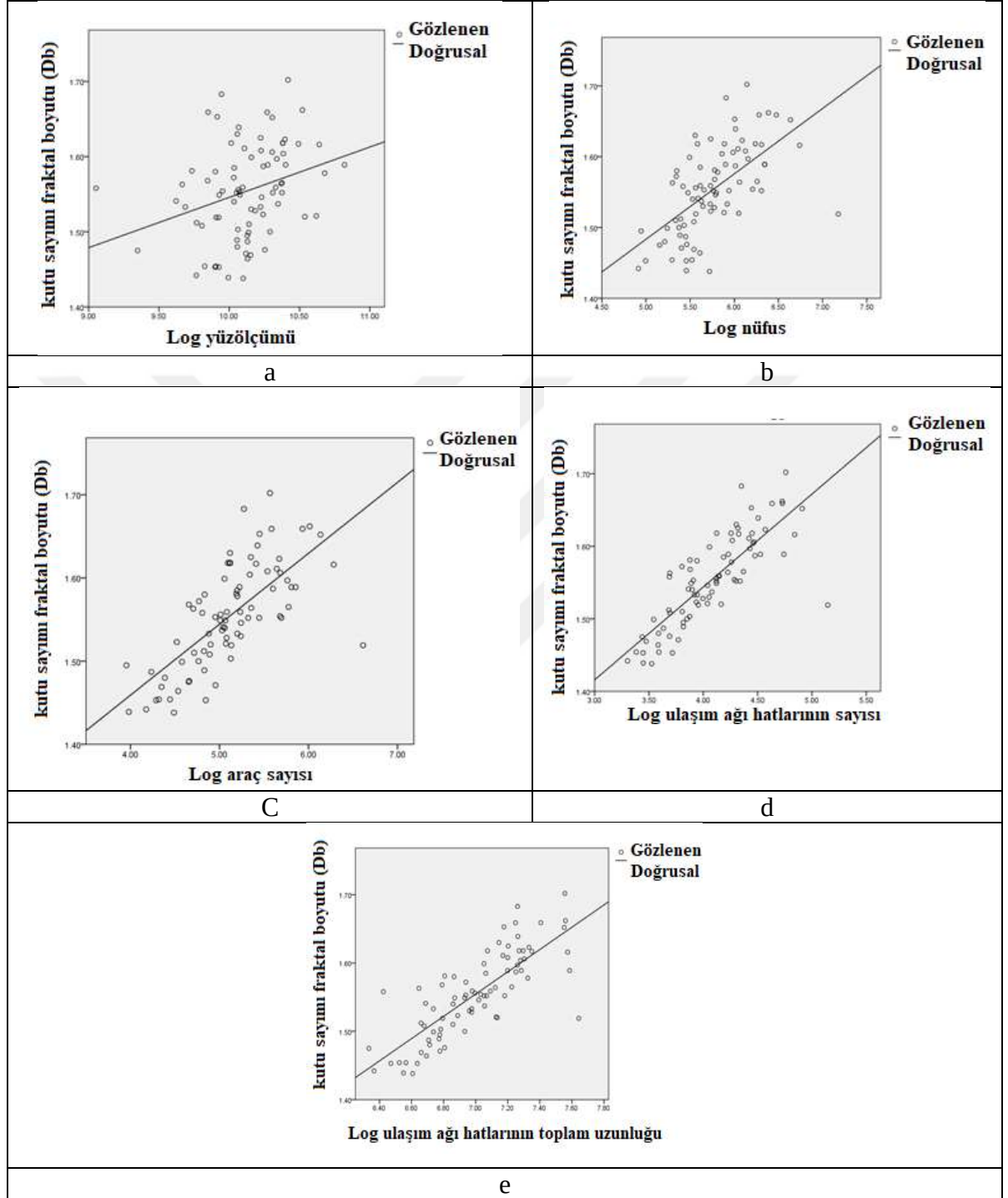


Şekil 65. Dr ile il merkezi sınırı göstergeleri arasındaki doğrusal ilişkileri

İl sınırı ulaşım ağları için sonuçlar aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

1. Db ile ulaşım ağı hatlarının sayısı arasında en yüksek korelasyon $R^2 = 0,659$ ve Db ile yüzölçümü arasında en düşük korelasyon $R^2 = 0,092$ bulunmuştur. R^2 değerleri 0,09 ve 0,70 arasındadır, yani genel olarak Db ile tüm değişkenler ayrı ayrı modellendiğinde aralarında pozitif doğrusal korelasyon olduğu belirlenmiştir. Db

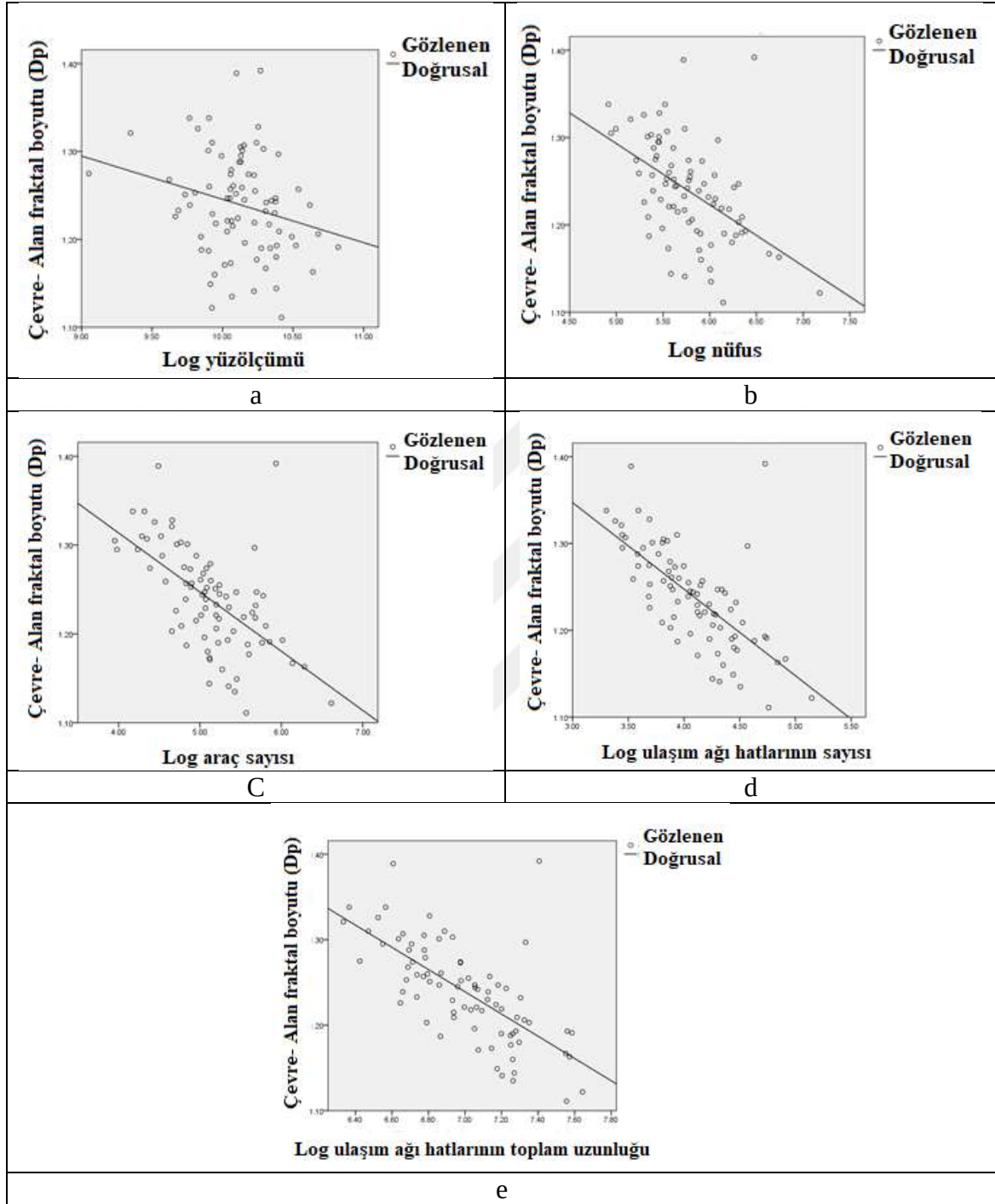
ile tüm değişkenler modellendiğinde $R^2=0,809$ 'a yükselmiştir. İl sınırı ulaşım ağı için Db ile il sınırı göstergeleri her biri arasındaki doğrusal ilişki gösterilmiştir (Şekil 66 a, b, c, d, e).



Şekil 66. Db ile il sınırı göstergeleri arasındaki doğrusal ilişkileri

2. Dp ile ulaşım ağı hatlarının sayısı ve ulaşım ağı hatlarının toplam uzunlukları arasında en yüksek korelasyon $R^2 = 0,461$ ve Dp ile yüzölçümü arasında en düşük korelasyon $R^2 = 0,058$ bulunmuştur. R^2 değerleri 0,06 ve 0,50 arasındadır, yani genel olarak Dp ile tüm değişkenler ayrı ayrı modellendiğinde aralarında negatif

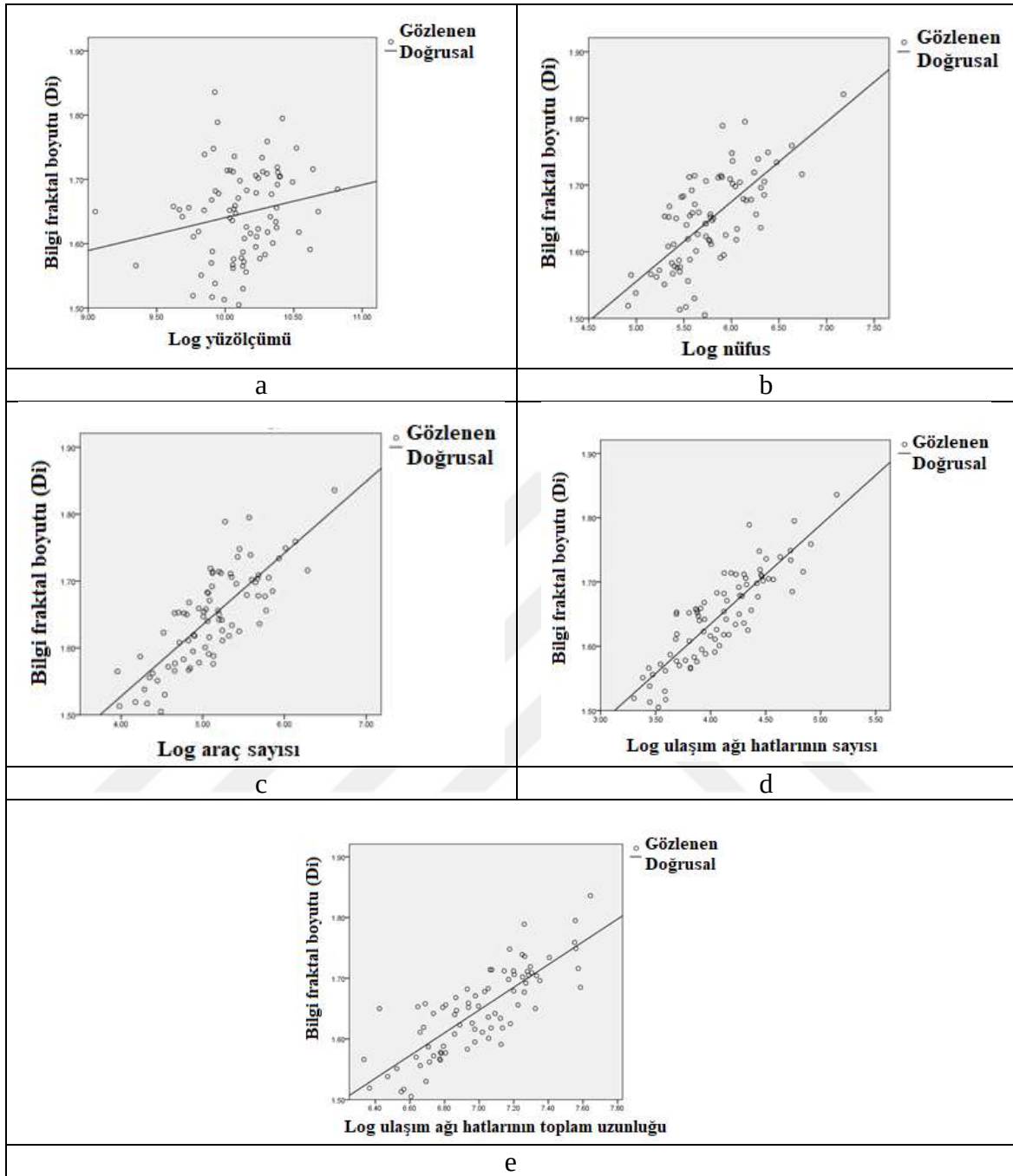
doğrusal korelasyon olduğu belirlenmiştir. Dp ile tüm değişkenler modellendiğinde $R^2=0,656$ 'ya yükselmiştir. İl sınırı ulaşım ağı için Db ile il sınırı göstergeleri her biri arasındaki doğrusal ilişki gösterilmiştir (Şekil 67 a, b, c, d, e).



Şekil 67. Dp ile il sınırı göstergeleri arasındaki doğrusal ilişkileri

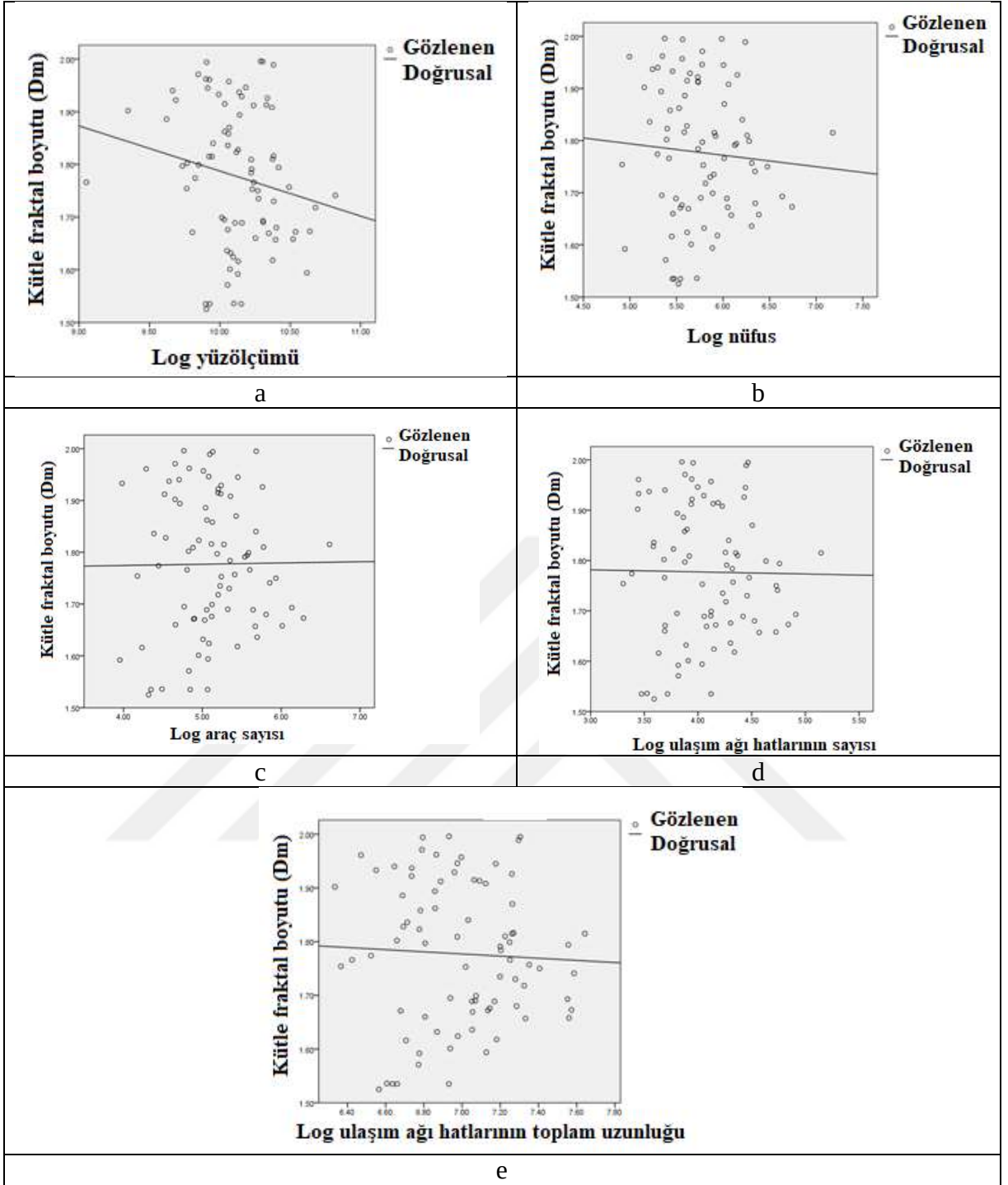
3. Di ile ulaşım ağı hatlarının sayısı arasında en yüksek korelasyon $R^2 = 0,760$ ve Dp ile yüzölçümü arasında en düşük korelasyon $R^2 = 0,043$ bulunmuştur. R^2 değerleri 0,04 ve 0,70 arasındadır, yani genel olarak Di ile tüm değişkenler ayrı ayrı modellendiğinde aralarında pozitif doğrusal korelasyon olduğu belirlenmiştir. Di ile tüm değişkenler modellendiğinde $R^2=0,939$ 'a yükselmiştir. İl sınırı ulaşım ağı için

Di ile il sınırı göstergeleri her biri arasındaki doğrusal ilişki gösterilmiştir (Şekil 68 a, b, c, d, e).



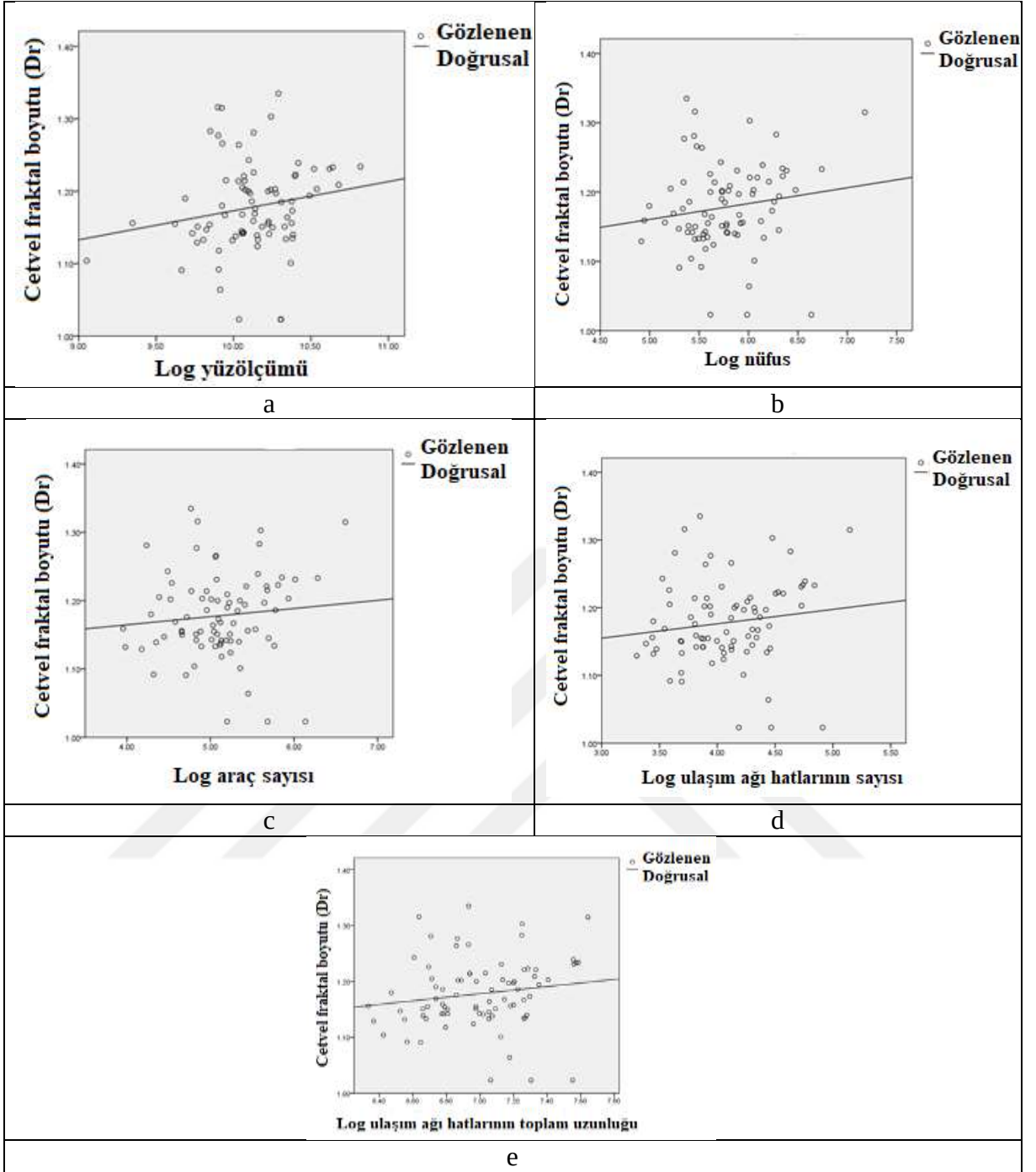
Şekil 68. Di ile il sınırı göstergeleri arasındaki doğrusal ilişkileri

4. Dm ve tüm değişkenler arasında çok zayıf doğrusal negatif korelasyon vardır, çünkü Dm ile tüm değişkenler ayrı ayrı modellendiğinde R^2 neredeyse sıfır olduğu belirlenmiştir. Dm ile tüm değişkenler modellendiğinde R^2 0,068'e yükselmiştir. İl sınırı ulaşım ağı için Dm ile il sınırı göstergeleri her biri arasındaki doğrusal ilişki gösterilmiştir (Şekil 69 a, b, c, d, e).



Şekil 69. Dm ile il sınırı göstergeleri arasındaki doğrusal ilişkileri

- Dr ve tüm değişkenler arasında çok zayıf doğrusal pozitif korelasyon vardır, çünkü Dr ile tüm değişkenler ayrı ayrı modellendiğinde R^2 neredeyse 0,035'ten küçüktür. Dr ile tüm değişkenler modellendiğinde R^2 0,044'e yükselmiştir. İl sınırı ulaşım ağı için Dr ile il sınırı göstergeleri her biri arasındaki doğrusal ilişki gösterilmiştir (Şekil 70 a, b, c, d, e).



Şekil 70. Dr ile il sınırı göstergeleri arasındaki doğrusal ilişkileri

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Türkiye’de 81 il için ulaşım ağı fraktal yapısı incelenmiştir. Çalışma kapsamında her il için sırasıyla kutu sayımı, çevre- alan, bilgi, kütle ve cetvel fraktal boyutları belirlenmiştir. Fraktal boyutlar her bir il için hem il merkezi hem de il sınırı olmak üzere iki farklı durum için ayrı ayrı belirlenmiştir. Her il için her bir fraktal boyut ile illerin nüfus, yüzölçümü, araç sayısı, ulaşım ağı hatlarının sayısı, ulaşım ağı hatlarının toplam uzunluğu göstergeleri arasındaki ilişki belirlenmiştir. Ayrıca, bu çalışmada dünya’daki 23 gelişmiş şehir ile Türkiye’deki Ankara ve İstanbul şehirleri için il merkezi sınırı ulaşım ağı fraktal yapıları incelenmiştir.

Çalışmanın sonuçları, Türkiye'deki il merkezi sınırı ve il sınırı dikkat alındığında ulaşım ağı yapılarının fraktal olduğunu göstermiştir. Bu sonuç, aynı ülkedeki farklı şehirlerin ulaşım ağlarının mekânsal modelinde fraktal kavramının önemini kanıtlamıştır. Fraktal boyutlar, tüm fraktal türleri için 1,023 ile 1,996 arasında belirlenmiştir. İl merkezi sınırı ulaşım ağları için Db ile Dp ve Di'nin her biri arasında güçlü doğrusal ilişki olduğu belirlenmiştir. Bu üç fraktal boyut hesaplanırken şehrin yüzölçümü içindeki ulaşım ağlarının yoğunluğunu dikkate almaktadır. Ayrıca, Db ile Dm ve Dr'nin her biri arasında zayıf doğrusal ilişki olduğu belirlenmiştir. Dm simetrik ve dairesel ağlar için daha uygun sonuçları vermektedir. Dr hesaplanırken ağın uzunluğu dikkate almaktadır. Dolayısıyla Db ile Dr ve Dm arasında güçlü bir ilişki bulunmamaktadır. Öte yandan, il sınırı ulaşım ağı için Db ve Di arasında güçlü doğrusal ilişki olduğunu belirlemiştir. Ayrıca il merkezi sınırı ulaşım ağı ve il sınırı ulaşım ağı için aynı tip fraktal boyutlar arasında çok zayıf bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni il merkezindeki ulaşım ağının yoğunluğu il sınırındaki ulaşım ağının yoğunluğu farklı değerlere sahip olmasıdır. Örneğin, il merkezinde ulaşım ağın yoğunluğu daha yüksek il sınırında daha düşüktür. Bu durum gelişmemiş illerde daha belirgindir. Gelişmiş iller ise hem il merkezi hem de il sınırında ulaşım ağı yoğunluğu aynı değerlere sahiptir.

Her şehir için farklı fraktal boyut değerleri ile şehirlere ait göstergeler arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Şehirler için dikkate alınan göstergeler sırasıyla; nüfus, yüzölçümü, araç sayısı, ulaşım ağı hatlarının sayısı ve ulaşım ağı hatlarının toplam uzunluğudur. Çalışmada şehirler il merkezi sınırı ve il sınırı olmak üzere iki aşamada incelenmiştir. İl merkezi sınırı dikkate alınarak elde edilen sonuçlara göre; Db, Dp ve Di fraktal boyutlar ile ulaşım ağı hatlarının sayısı arasında en yüksek korelasyon ve nüfus göstergesi ile en düşük korelasyona sahip oldukları belirlenmiştir. Db, Dp ve Di ile tüm değişkenler modellendiğinde sırasıyla

korelasyon (R^2) deęerleri 0,881, 0,839, 0,928 belirlenmiřtir. Dm ve Dr fraktal boyutları ile deęiřkenler modellendięinde dūřuk korelasyon elde edilmiřtir.

İl sınırı dikkate alınarak belirlenen Db ve Di fraktal boyutları ile ulařım aęı hatlarının sayısı arasında en yūksək korelasyon ve Dp ile ulařım aęı hatlarının sayısı ve ulařım aęı hatlarının toplam uzunluęu arasında en yūksək korelasyon olduęu belirlenmiřtir. Db, Dp ve Di ile yūzōlçümü arasında en dūřuk korelasyon olduęu belirlenmiřtir. Db ve Di, tūm deęiřkenlerle modellendięinde R^2 deęerleri sırasıyla 0,809 ve 0,939 belirlenmiřtir. Dm ve Dr fraktal boyutları ile deęiřkenler modellendięinde dūřuk korelasyon elde edilmiřtir.

Ulaşım ağı hatlarının sayısı artınca (ōzellikle il merkezi sınırı ulaşım ağı için) ağının yoğunluğunun ve karmaşıklık dūzeyinin artmaktadır. Bundan dolayı Db, Dp ve Di fraktal boyutları ile il merkezi sınırı ulaşım ağı hatlarının sayısı ve ulaşım ağı hatlarının toplam uzunluğu arasında yūksək pozitif korelasyonlar elde edilmiştir. Bu sonuç, fraktal boyut ile ulaşım ağının yoğunluk ve karmaşıklık seviyesi arasındaki pozitif ilişkiyi desteklemektedir. Yūzōlçümü, nūfus ve araç sayısı gōstergelerinin ulaşım ağı yoğunluk ve karmaşıklığını daha az etkilediğini belirlenmiştir.

Tūrkiye'deki Ankara ve İstanbul gibi 5 milyondan fazla nūfusa sahip mega şehirlerin; şikago, Hong Kong, Londra, New York, Seul, Paris, Singapur, Madrid, Milano, Moskova, Los Angeles, Mexico City, Toronto, Sāo Paulo, Buenos Aires, Berlin, St. Petersburg, Johannesburg, Pekin, şangay, Tokyo, Bangkok, Sidney gibi il merkezi sınırı ulaşım sistemlerinde dūnyanın en iyi şehirleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, İstanbul ve Ankara'nın dūnyanın mega şehirleri ile benzer yapıda karmaşık ulaşım ağına sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, İstanbul ve Ankara'nın fraktal boyutları dūnyanın mega şehirlerinin fraktal boyutları birbirine yakın olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, şehirler arasındaki yeni karşılaştırma yaklaşımı için fraktal boyut karşılaştırması yapılabileceğini gōstermiřtir. Ankara ve İstanbul şehirlerin il merkezi sınırı ulaşım ağının mekānsal dağılımına gōre dūnyanın en gelişmiş şehirleri arasında yer aldığı belirlenmiştir.

Fraktal boyutlar içerisinde Db, Dp ve Di fraktal boyutlarının diğer fraktal boyutlara gōre sistemin fraktal yapısını daha iyi tanımladığı belirlenmiştir. Özellikle Dm ve Dr fraktal boyutlarının hem il merkezi hem de il sınırı durumlarında sistemin fraktal yapısını tam olarak yansıtmadığı belirlenmiştir.

Gelecekte yapılacak araştırmalar ve çalışmalar için havayolları gibi başka bir ulaşım modu üzerinde çalışmak ve havayollarının fraktal boyutu ile seyahat sayısı, uçuş sayısı, yolcu sayısı gibi seçilmiş gōstergelerin arasında bağlantı kurmaya çalışmak faydalı olacaktır. Ayrıca, farklı ulaşım modları için fraktal boyutlar belirlenip karşılaştırma yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Anonim 1. <https://www.tuik.gov.tr>.(Erişim tarihi:2018)
- Anonim2.<https://tr.depositphotos.com/vector-images/t%C3%BCrkiye-siyasi-harita.html>.
(Erişim tarihi:2018)
- Anonim3.<https://www.lafsozluk.com/2012/01/marmara-bolgesi-illeri-ve-haritasi.html> .(Erişim tarihi:2018)
- Anonim4.<https://www.lafsozluk.com/2012/01/karadeniz-bolgesi-illeri-ve-haritasi.html>.
(Erişim tarihi:2018)
- Anonim5.<https://www.lafsozluk.com/2012/01/ege-bolgesi-illeri-ve-haritasi.html>. (Erişim tarihi:2018)
- Anonim6.<https://www.lafsozluk.com/2012/01/ic-anadolu-bolgesi-illeri-ve-haritasi.html>.
(Erişim tarihi:2018)
- Anonim7.<https://www.lafsozluk.com/2012/01/dogu-anadolu-bolgesi-illeri-ve-haritasi.html>.
(Erişim tarihi:2018)
- Anonim 8. <https://www.lafsozluk.com/2012/01/akdeniz-bolgesi-illeri-ve-haritasi.html>. (Erişim tarihi:2018)
- Anonim9.<https://www.lafsozluk.com/2012/01/dogu-anadolu-bolgesi-illeri-ve-haritasi.html>.
(Erişim tarihi:2018)
- Anonymous10.<https://www.openstreetmap.org/relation/174737#map=6/39.127/35.219>.
(Erişim tarihi:2018) .
- Anonymous11.<http://trusoft-international.com/BenoitForMatlab/BoxCounting2D.htm>. (Erişim tarihi:2019)
- Anonymous 12. <http://trusoft-international.com/BenoitForMatlab/Perimeter-Area.htm>.(Erişim tarihi:2019)
- Anonymous13.<http://trusoft-international.com/BenoitForMatlab/Information.htm>. (Erişim tarihi:2019)
- Anonymous14.<http://trusoft-international.com/BenoitForMatlab/Mass.htm>. (Erişim tarihi:2019)
- Anonymous15.<http://trusoft-international.com/BenoitForMatlab/Ruler.htm>. (Erişim tarihi:2019)
- Anonymous 16. <https://www.macrotrends.net/>.(Erişim tarihi:2020)
- Avineri, E., 2010. Complexity Theory and Transport Planning: Fractal Traffic Networks. A Planner's Encounter with Complexity, Ed: Silva, E. and De Roo, G., Aldershot, United Kingdom, 1-9.
- Benguigui, L., 1992. The fractal dimension of some railway networks. Journal de Physique I, 2(4), 385-388.
- Benguigui, L., 1994. A fractal analysis of the public transportation system of Paris. Environment and Planning A, 27 (7), 1147-1161.
- Benguigui, L., Portugali, Y., 1999. When and where is a city fractal?. Environment and Planning B: Planning and Design, 27 (4), 507-519.

- Cooper, J., 2003. Fractal Assessment of Street-level Skylines: A Possible Means of Assessing and Comparing Character. *Urban Morphology*, 7(2), 73-82.
- Cooper, J., 2005. Fractal assessment of street edges – a possible means of assessing and comparing character. Joint Centre For Urban Design, School of the Built Environment, Oxford Brookes University, Oxford, England, https://www.researchgate.net/profile/Jon_Cooper2/publication/256059044_Assessing_Urban_Character_the_use_of_fractal_analysis_of_street_edges/links/00463529883f1a3fc2000000/Assessing-Urban-Character-the-use-of-fractal-analysis-of-street-edges.pdf (14.02.2021).
- Cooper, J., and Oskrochi, R., 2008. Fractal analysis of street vistas: a potential tool for assessing levels of visual variety in everyday street scenes. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 35 (2), 349 -363.
- Cooper, J., Watkinson, D., and Oskrochi, R., 2010. Fractal analysis and perception of visual quality in everyday street vistas. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 37(5), 80 -822.
- Cooper, J., Su, M., and Oskrochi, R., 2013. The influence of fractal dimension and vegetation on the perceptions of streetscape quality in Taipei: with comparative comments made in relation to two British case studies. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40 (1), 43-62.
- Crilly, a., Earnshaw, R., Jones, H., 1991. Introduction Fractals and Chaos. *Fractals and Chaos*, Ed: Crilly, a., Earnshaw, R., Jones, H., New York, 1-4.
- Domínguez, P., Casado, A., Ruiz, P., and Magriñán, P., 2018. Multifractal Approach for Comparing Road Transport Network Geometry: The case of Spain. *Physica. A: statistical mechanics and its application*, 5 (10) ,678-690.
- Encarnaçãõ, S., Gaudiano, M., Santos, F., Tenedo'rio, J., and Pacheco, J., 2012. Fractal cartography of urban areas. *Scientific Reports*, 2 (1), 1-5.
- Enright, M., and Leitner, D., 2005. Mass fractal dimension and the compactness of proteins. *Physical Review E*, 71 (1), 1-9.
- Falconer, K., 2013. *Fractals A Very Short Introduction*. Oxford University Press, 152p, USA.
- Faloutsos, Ch., and Gaede, V., 1996. Analysis of n- dimensional Quadrees Using the Hausdorff Fractal Dimension. *The International Journal on Very Large Data Bases*,1-18.
- Frankhauser, P., 2015. From Fractal Urban Pattern Analysis to Fractal Urban Planning Concepts. *Computational Approaches for Urban Environments*, 13-48.
- Gallos, L., Song, C., and Makse, H., 2007. A review of fractality and self-similarity in complex networks. *Physica A*, 386 (2), 686–691.
- Imre, A., 2006. Artificial fractal dimension obtained by using perimeter- area relationship on digitalized images. *Applied Mathematics and Computation*, 173 (1), 443–449.
- Jayasinghe, A., and Jeza, T., 2014. Fractal Dimension of Urban Form Elements and its Relationships: In the Case of City of Colombo. *Asian Journal of Engineering and Technology*, 2 (2), 98 – 108.
- Jevrić, M., Knežević, M., Kalezić, J., Kopitović-Vuković, N., and Ćipranić, i., 2014. Application of fractal geometry in urban pattern design. *Technical Gazette*, 21 (4), 873-879.

- Jiang, L., Xiao-yan, W., and Qing-sheng, G., 2002. Research on The Fractal Characteristics of Urban Traffic Network Structure Based on GIS. *Chinese Geographical Science*, 12 (4), 346-349.
- Kim, K., Benguigui, L., and Marinov, M., 2002. The fractal Structure of Seoul's Public Transportation System. *Cities*, 20(1), 31–39.
- Klinkenberg, B., 1994. A Review of Methods Used to Determine the Fractal Dimension of Linear Features. *Mathematical Geology*, 26 (1), 23-46.
- Knupfer, S., Pokotilo, V., and Woetzel, J., 2018. Elements of success: Urban transportation systems of 24 global cities. USA.
- Lu, Y., and Tang, J., 2004. Fractal dimension of a transportation network and its relationship with urban growth: a study of the Dallas - Fort Worth area. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31 (6), 895-911.
- Mandelbrot, B., 1982. *The Fractal Geometry of Nature*. Times Books, 468p, San Francisco.
- Morency, C., and Chapleau, R., 2003. Fractal geometry for the characterisation of urban-related states: Greater Montreal Case. *HarFA - Harmonic and Fractal Image Analysis*, 30–34.
- Mo, Y., Liu, J., and Lv, S., 2015. GIS-based Analysis of Fractal Features of the Urban Road Network. 2015 6th IEEE international conference on software engineering and service science (ICSESS), Beijing, China.
- Peiravina, F., 2014. Geometric Complexity of Urban Road Networks. Doctoral Dissertations, Graduate College of the University of Illinois, USA.
- Peiravian, F., Lapparent, M., and Derrible, S., 2015. Exploration of the Complex Similarity of Urban System Components. Switzerland.
- Prada, D., Montoya, S., Sanabria, M., Torres, F., Serrano, D., and Acevedo, A., 2019. Fractal analysis of the influence of the distribution of road networks on the traffic. *Journal of Physics*, 1-4.
- Reynoso, C., 2005. The impact of chaos and complexity theories in spatial analysis. Problems and perspectives. Universidad de Buenos Aires, <http://carlosreynoso.com.ar/archivos/carlos-reynoso-impact-of-chaos-and-complexity-in-spatial-analysis.pdf> (14.02.2021).
- Santos, A., Valério, D., Machado, J., and Lopes, A., 2018. A Fractional Perspective to the Modelling of Lisbon's Public Transportation Network. *Transportation*, 46 (5), 1893-1913.
- Shen, G., 2002. Fractal dimension and fractal growth of urbanized areas. *International Journal of Geographical Information Science*, 16(5), 419- 437.
- Sreelekha, M., Krishnamurthy, K., and Anjaneyulu, M., 2015. Interaction between Road Network Connectivity and Spatial Pattern. *Procedia Technology*, 24, 131–139.
- Sreelekha, M., Krishnamurthy, K., and Anjaneyulu, M., 2017. Fractal Assessment of Road Transport System. *European Transport*, 65(5), 1-13.
- Thibault, S., and Crews, J., 1995. The morphology and growth of urban technical networks: a fractal approach. *FLUX*, 19, 17-30.
- Zhang, H., 2010. Uncovering Road Network Structure through Complex Network Analysis. Doctoral Dissertations, Department of Land Surveying & Geo-Informatics at The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Rana ABİD
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	Maymonah Bent Al-Hareth Lisesi (2006)
Lisans:	Ürdün bilim ve teknoloji üniversitesi, Mühendislik Fakültesi (2010)
Yüksek lisans	Ürdün Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı (2015)
Doktora:	Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı (2021)
Yabancı Dil Bilgisi	
Arapça:	Anadili
İngilizce:	İyi
Türkçe:	Orta
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
Ürdün Mühendisler Derneği	
Tezden Üretilmiş Yayınlar	
1- The Fractal Geometry of Turkey's Urban Transportation Networks, KSCE Journal of Civil Engineering	
2- Fractal Dimensions of Road Networks in Amman Metropolitan Districts, Alexandria Engineering Journal	