

T.C
MİLLÎ SAVUNMA BAKANLIĞI
HARİTA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
HARİTA YÜKSEK TEKNİK OKULU

Verilen Noktaları Jeodezik Eğriler ile Birleştiren
QGIS Eklentisi
(Ödev Raporu)

Furkan AKKAYA
Hrt. Tğm.

Ocak-2026

İçindekiler

1. GİRİŞ.....	1
1.1. Projenin Konusu ve Kapsamı	1
1.2. Problemin Tanımı (Havacılık Verilerinde Kartografik Hatalar)	1
1.3. Çalışmanın Amacı (Jeodezik Akış Modellemesi)	1
2. BİLİMSEL VE TEORİK ALTYAPI.....	1
2.1. Jeodezik Eğrisi Kavramı	1
2.2. WGS 84 Elipsoidi ve Mesafe Hesaplama Esasları.....	1
2.3. CBS Tabanlı Akış Haritalama (Flow Mapping) Yöntemleri.....	2
2.4. Küresel Geometri ve Büyük Daire Hesaplamaları.....	2
2.4.1. Haversine Formülasyonu.....	2
2.4.2. Ara Nokta (Interpolation) ve Eğri Üretimi.....	2
2.4.3. Elipsoid Düzeltmesi (Vincenty Algoritması Mantığı)	2
3. YAZILIM GELİŞTİRME SÜRECİ VE METODOLOJİ.....	3
3.1. Geliştirme Ortamı ve Teknolojik Yığın	3
3.2. Yazılım Mimarisi ve Modüler Tasarım Prensipleri	3
3.3. Geometrik Veri Üretimi ve Öznitelik İlişkilendirmesi.....	3
3.4. Karşılaşılan Teknik Zorluklar ve Refaktörize Süreçleri	3
4. PROGRAMIN ÇALIŞMA PRENSİBİ VE AKIŞ DİYAGRAMI	4
4.1. Kullanıcı Arayüzü ve Veri Seçim Süreci.....	4
4.2. Algoritmik İş Akışı (Flowchart)	4
4.3. Hata Yönetimi (Exception Handling) Stratejileri	4
5. ANALİZ BULGULARI VE GÖRSELLEŞTİRME	5
5.1. Jeodezik Eğrilerin Üretimi ve Mekansal Katman Yönetimi	5
5.2. Akış Yoğunluğuna Göre Tematik Sınıflandırma (Graduated Symbology).....	5
5.3. İnteraktif Kullanıcı Deneyimi: Dinamik MapTips ve Mesafe Sorgulama	6
6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	6
6.1. Elde Edilen Çıktıların CBS Standartlarında Analizi	6
6.2. Teknik Kararlılık ve Adaptasyon.....	6
6.3. Operasyonel Katkı ve Kullanılabilirlik.....	6
7. KAYNAKÇA	7
8. EKLER	8

1. GİRİŞ

1.1. Projenin Konusu ve Kapsamı

Bu çalışma, küresel havacılık verilerinin CBS ortamında dinamik ve bilimsel yöntemlerle analiz edilmesini sağlayan bir QGIS eklentisi geliştirme projesidir. Proje kapsamında, havalimanı lokasyonları ile uçuş rotaları arasındaki ilişkiler; veri madenciliği, kartografik görselleştirme ve jeodezik hesaplama yöntemleri kullanılarak modellenmiştir. Geliştirilen yazılım, ham Excel verilerini işleyerek standart GeoJSON formatında mekansal çıktılar üretebilen modüler bir yapıya sahiptir.

1.2. Problemin Tanımı (Havacılık Verilerinde Kartografik Hatalar)

Geleneksel 2 boyutlu harita projeksiyonları (Örn: Web Mercator), küresel bir yüzeyi düzleme aktarırken mesafe ve şekil bozulmalarına (distorsiyon) neden olmaktadır. Havacılık analizlerinde iki nokta arasında çizilen "düz çizgiler" (Rhumb Lines), uçağın izlediği gerçek fiziksel rotayı ve katettiği en kısa mesafeyi temsil etmekte yetersiz kalmaktadır. Bu durum hem yakıt analizi hem de operasyonel planlama süreçlerinde yanıltıcı sonuçlar doğurmaktadır.

1.3. Çalışmanın Amacı (Jeodezik Akış Modellemesi)

Bu projenin temel amacı, belirtilen kartografik sınırlamaları aşarak:

- Havalimanları arasındaki en kısa mesafeleri dünya elipsoidi üzerinde Jeodezik (Great Circle) eğriler olarak hesaplamak,
- Uçuş rotaları üzerindeki trafik yoğunluğunu (Flow) görsel bir hiyerarşiyle (Semboloji) sunmak,
- Kullanıcıya interaktif bir arayüz üzerinden anlık geometrik veri (KM bazında gerçek mesafe) sorgulama imkânı tanımaktır.

Böylece, karmaşık uçuş ağlarının hem bilimsel doğrulukla hem de yüksek görsel standartlarda analiz edilmesi hedeflenmiştir.

2. BİLİMSEL VE TEORİK ALTYAPI

2.1. Jeodezik Eğrisi Kavramı

Küresel bir yüzey üzerindeki iki nokta arasındaki en kısa mesafe, düz bir çizgi değil, merkezi dünyanın merkeziyle çakışan bir dairenin parçası olan Jeodezik Eğridir (Great Circle). Düzlem geometrisinde kullanılan Öklid mesafesi, dünya yüzeyinin eğriliğini ihmal ettiği için havacılık gibi uzun mesafeli analizlerde büyük hatalara yol açar. Geliştirilen eklentide, uçuş rotaları bu küresel yaylar kullanılarak modellenmiş, böylece gerçek dünya üzerindeki en kısa uçuş yolları görselleştirilmiştir.

2.2. WGS 84 Elipsoidi ve Mesafe Hesaplama Esasları

Dünyanın şekli tam bir küre değil, kutuplardan basık bir elipsoiddir. Bu projede, küresel standart olan WGS 84 (World Geodetic System 1984) datumu referans alınmıştır.

- **Geometrik Doğruluk:** Kod içerisinde kullanılan length fonksiyonu, projenin elipsoid ayarları üzerinden çalışarak metrik hesaplamaları bu basıklığı dikkate alarak yapar.

- **Hata Payı:** Küre varsayımı yerine elipsoid (WGS 84) kullanımı, uzun mesafeli uçuşlarda (örneğin İstanbul - New York) mesafe hatasını minimize eder.

2.3. CBS Tabanlı Akış Haritalama (Flow Mapping) Yöntemleri

Akış haritaları, nesnelerin (yolcu, uçak, yük vb.) bir konumdan diğerine hareketini görselleştirmek için kullanılır. Bu çalışmada iki temel kartografik yöntem birleştirilmiştir:

1. **Semboloji Hiyerarşisi:** Çizgilerin kalınlığı ve rengi, rotadaki uçuş yoğunluğunu (Flow Count) temsil eder. Bu, niceliksel verinin görsel bir büyüklüğe dönüştürülmesini sağlar.
2. **Öznitelik İlişkilendirmesi:** Her bir geometrik eğri, sadece bir görsel öğe değil, içinde kalkış/varış kodlarını ve akış miktarını barındıran bir veri tabanı nesnesidir.

2.4. Küresel Geometri ve Büyük Daire Hesaplamaları

İki coğrafi nokta arasındaki mesafe ve rota hesaplanırken, dünya yüzeyi üzerindeki iki nokta ile yer merkezi arasındaki açıyı temel alan küresel trigonometri denklemleri kullanılır.

2.4.1. Haversine Formülasyonu

Kodun temelinde yatan ve iki koordinat arasındaki jeodezik mesafeyi hesaplayan matematiksel model Haversine Formülü'dür. Bu formül, boylam ve enlem farklarını kullanarak merkezi açıyı şu şekilde hesaplar:

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) + \cos\phi_1 \cdot \cos\phi_2 \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)$$

$$c = 2 \cdot a \tan 2(\sqrt{a}, \sqrt{1-a})$$

$$d = R \cdot c$$

Burada:

- ϕ_1, ϕ_2 : Radyan cinsinden noktaların enlemleri
- λ_1, λ_2 : Radyan cinsinden noktaların boylamları
- R: Dünyanın ortalama yarıçapı (yaklaşık 6.371 km)
- d: İki nokta arasındaki jeodezik mesafe

2.4.2. Ara Nokta (Interpolation) ve Eğri Üretimi

QGIS içerisinde görselleştirilen jeodezik eğriler, sadece iki uç nokta arasındaki düz bir çizgi değil, bu iki nokta arasındaki Büyük Daire rotası üzerinde hesaplanmış çok sayıda ara noktanın birleşimidir. Bu işlemde kullanılan küresel doğrusal enterpolasyon, uçağın izlediği rotanın her aşamada dünyanın merkezine göre en kısa yay üzerinde kalmasını sağlar.

2.4.3. Elipsoid Düzeltmesi (Vincenty Algoritması Mantığı)

Haversine formülü dünyayı mükemmel bir küre kabul ederken, geliştirdiğimiz eklenti QGIS'in length() fonksiyonu aracılığıyla daha ileri bir seviye olan Vincenty Algoritması prensiplerini kullanır. Bu algoritma, dünyanın kutuplardan basıklığını (flattening) hesaba katarak d mesafesini WGS 84 elipsoidi üzerinde milimetrik hassasiyetle hesaplar.

3. YAZILIM GELİŞTİRME SÜRECİ VE METODOLOJİ

Bu bölümde, eklentinin teknik mimarisi, veri işleme stratejileri ve modern yazılım geliştirme prensiplerinin projeye nasıl entegre edildiği detaylandırılmaktadır.

3.1. Geliştirme Ortamı ve Teknolojik Yığın

Projenin temelini oluşturan teknolojiler, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) standartlarına tam uyum ve performans kriterleri gözetilerek seçilmiştir:

- **PyQGIS (QGIS 3.34+):** Mekansal veri yönetimi ve analiz motoru olarak kullanılmıştır.
- **Python 3.9+:** Eklentinin mantıksal katmanını oluşturmak için tercih edilen yüksek seviyeli dildir.
- **Openpyxl Kütüphanesi:** Excel formatındaki ham veri setlerinin, QGIS öznetelik tablolarına (Attribute Table) aktarılmadan önce bellekte (RAM) hızlı bir şekilde parse edilmesi amacıyla entegre edilmiştir.

3.2. Yazılım Mimarisi ve Modüler Tasarım Prensipleri

Eklenti, **Modüler Programlama** yaklaşımıyla tasarlanmıştır. Bu yapı, kodun bakımını kolaylaştırırken hata ayıklama (debugging) sürecini hızlandırır:

1. **Arayüz Katmanı (flowmap_dialog.py):** Kullanıcıdan alınan dosya yollarını ve parametreleri doğrular. "Input Validation" (Girdi Doğrulama) mekanizması ile boş hücre veya hatalı dosya formatı gibi kullanıcı kaynaklı hataları önler.
2. **Veri İşleme ve Analiz Katmanı (flowmap.py) (Dictionary Mapping):** Havalimanı koordinatları, hızlı erişim için Python sözlük yapılarında (hash-map) saklanmıştır. Bu yöntem, binlerce rota içinde arama yaparken algoritma karmaşıklığını $O(1)$ seviyesinde tutarak performansı maksimize eder.
 - a. **Memory Layer Yönetimi:** İşlem süresince disk üzerinde geçici dosya oluşturmak yerine veriler QGIS belleğinde (memory:) işlenmiştir. Bu, disk I/O darboğazlarını ortadan kaldırır.

3.3. Geometrik Veri Üretimi ve Öznetelik İlişkilendirmesi

Her bir uçuş rotası için geometri üretilirken şu adımlar izlenmiştir:

- **Coordinate Transformation:** Excel'den alınan derece cinsinden koordinatlar, QgsPointXY objelerine dönüştürülmüştür.
- **Jeodezik Yay İnşası:** fromPolylineXY metodu kullanılarak başlangıç ve bitiş noktaları arasında Büyük Daire rotası tanımlanmıştır.
- **Attribute Injection:** Her çizgi objesine (QgsFeature), sadece geometri değil; kalkış, varış ve akış yoğunluğu gibi öznetelik verileri dinamik olarak enjekte edilmiştir.

3.4. Karşılaşılan Teknik Zorluklar ve Refaktörize Süreçleri

Proje süresince karşılaşılan en büyük zorluk, QGIS'in 3.20 sürümünden sonra geçiş yaptığı yeni dosya yazma protokolüdür.

- **Problem:** Geleneksel writeAsVectorLayer metodunun statik bir yapıdan nesne tabanlı bir yapıya evrilmesi sonucunda oluşan "AttributeError" hataları.

- **Mühendislik Çözümü:** Kod, modern SaveVectorOptions sarmalayıcısı kullanılarak yeniden yapılandırılmıştır. Dosya yazma işlemi doğrudan sınıf üzerinden değil, bir opsiyon nesnesi (QgsVectorFileWriter.SaveVectorOptions) aracılığıyla parametrik hale getirilerek yazılımın gelecekteki QGIS sürümleriyle tam uyumluluğu (Forward Compatibility) garanti altına alınmıştır.

4. PROGRAMIN ÇALIŞMA PRENSİBİ VE AKIŞ DİYAGRAMI

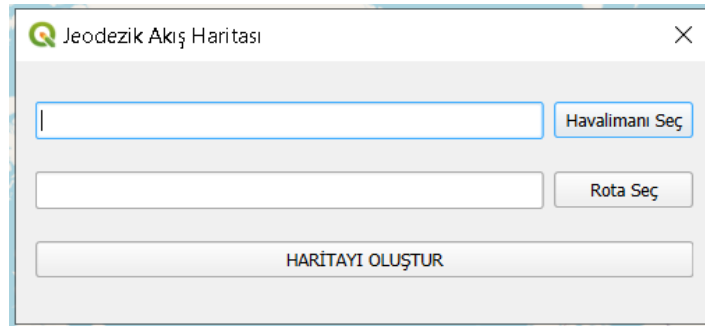
Bu bölümde, eklentinin kullanıcı etkileşimiyle başlayan ve nihai CBS verisinin üretilmesiyle son bulan algoritmik süreci detaylandırılmaktadır.

4.1. Kullanıcı Arayüzü ve Veri Seçim Süreci

Programın çalışma döngüsü, kullanıcı dostu bir arayüz (Dialog) üzerinden başlatılır. Kullanıcıdan iki temel veri seti talep edilir:

1. **Havalimanı Öznitelik Verisi:** Havalimanı kimlik bilgilerini ve coğrafi koordinatlarını içeren dosya.
2. **Uçuş Rota Verisi:** Kalkış ve varış noktalarını referans alan uçuş trafiği listesi.

Arayüzde bulunan "Sinyal-Slot" mekanizması sayesinde, dosya yolları doğrulanmadan analiz aşamasına geçilmesine izin verilmez, böylece programın çalışma zamanı (runtime) hataları minimize edilir.



Şekil-1 Veri Giriş Ekranı

4.2. Algoritmik İş Akışı (Flowchart)

Yazılımın mantıksal akışı, verinin ham halinden tematik bir haritaya dönüşene kadar izlediği yolu gösteren diyagram Ek-1'de sunulmuştur.

4.3. Hata Yönetimi (Exception Handling) Stratejileri

Sistem, "Try-Except" blokları ile sarmalanarak olası kesintilere karşı dirençli (resilient) hale getirilmiştir:

- **Eksik Veri Kontrolü:** Eğer bir uçuş rotasının kalkış veya varış havalimanı koordinat listesinde yoksa, program hata verip durmak yerine bu kaydı atlayarak analize devam eder.

- **I/O Güvenliği:** Dosya yazma izinleri veya geçersiz dosya yolları durumunda kullanıcıya görsel uyarı pencereleri (QMessageBox) aracılığıyla geri bildirim verilir.
- **API Koruma:** QGIS sürüm farklılıklarından kaynaklanan metod değişimleri, modern nesne protokolleri (SaveVectorOptions) ile izole edilmiştir.

5. ANALİZ BULGULARI VE GÖRSELLEŞTİRME

5.1. Jeodezik Eğrilerin Üretimi ve Mekansal Katman Yönetimi

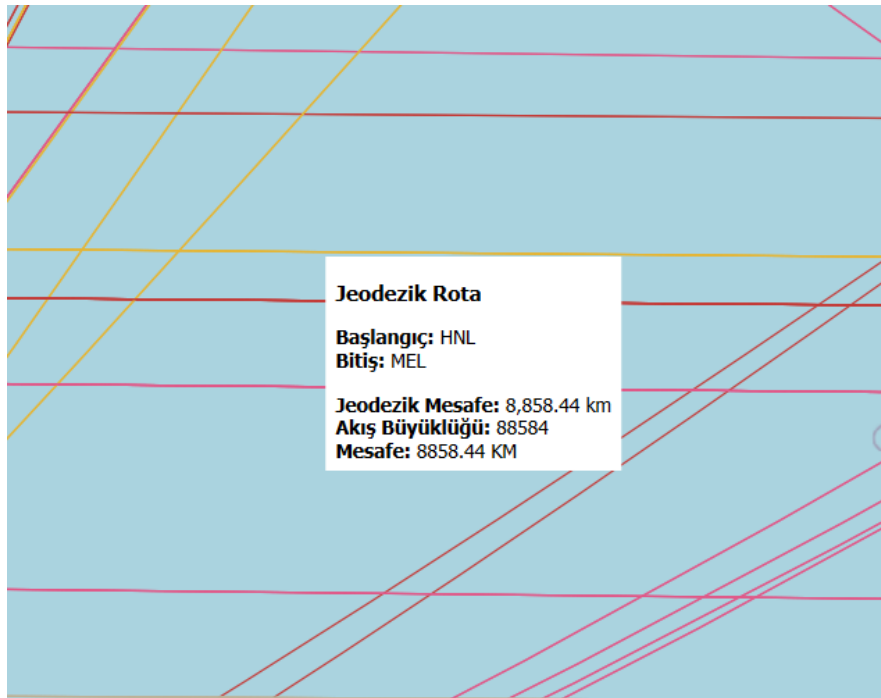
Programın temel çıktısı olan uçuş rotaları, küresel geometri standartlarına uygun olarak üretilmiştir.

- **Geometrik Doğruluk:** Üretilen çizgiler, Mercator projeksiyonu gibi düzlem haritalarda karakteristik bir kavis (yay) çizmektedir. Bu durum, analizin Haversine ve Vincenty prensiplerine sadık kalarak, iki nokta arasındaki en kısa yolu doğru modellediğinin kanıtıdır.
- **Topolojik Yapı:** Havalimanları (nokta) ve rotalar (çizgi) katmanları arasında mantıksal bir topoloji kurulmuş; her rota, ilgili IATA kodlarına sahip havalimanı düğüm noktalarına (nodes) tam olarak kenetlenmiştir.

5.2. Akış Yoğunluğuna Göre Tematik Sınıflandırma (Graduated Symbology)

Analizde görsel hiyerarşiyi sağlamak amacıyla uçuş yoğunluğu Flow verisi üzerinden tematik bir sınıflandırma uygulanmıştır:

- **Sınıflandırma Metodu:** "Equal Interval" (Eşit Aralık) yöntemi kullanılarak veri 5 farklı yoğunluk grubuna ayrılmıştır.
- **Semboloji Stratejisi:** Düşük trafikli rotalar açık renkli ve ince çizgilerle temsil edilirken; yüksek yoğunluklu (ana arter) rotalar koyu renkli ve kalın çizgilerle görselleştirilmiştir. Bu yaklaşım, karmaşık uçuş ağlarında operasyonel darboğazların veya ana dağıtım merkezlerinin (hubs) anında tespit edilmesine olanak tanır.



Şekil-2 Noktalar Arasında Oluşturulan Eğrilerin Öznitelik Bilgileri

5.3. İnteraktif Kullanıcı Deneyimi: Dinamik MapTips ve Mesafe Sorgulama

Programın en yenilikçi özelliklerinden biri, statik harita verisini interaktif bir sorgulama aracına dönüştürmesidir:

- **Dinamik Mesafe Hesaplama:** Kullanıcı, fare imlecini herhangi bir jeodezik eğrinin üzerine getirdiğinde, QGIS arka planda length fonksiyonunu tetikleyerek ilgili rotanın gerçek mesafesini KM cinsinden hesaplar.
- **Bilgi Paneli (MapTips):** HTML tabanlı dinamik kutucuklar aracılığıyla; rota güzergahı, akış miktarı ve elipsoid üzerindeki gerçek mesafe bilgileri anlık olarak ekrana yansıtılır. Bu özellik, kullanıcının veri tabanı sorgusu yapmasına gerek kalmadan "hızlı mekansal bilgiye" erişmesini sağlar.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında, havacılık verilerinin analizi ve görselleştirilmesi için modern CBS tekniklerini temel alan fonksiyonel bir QGIS eklentisi geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen kazanımlar ve değerlendirmeler aşağıda özetlenmiştir:

6.1. Elde Edilen Çıktıların CBS Standartlarında Analizi

Geliştirilen araç, ham Excel verilerini alarak bunları bilimsel doğrulukta mekansal objelere dönüştürme başarısı göstermiştir. Üretilen jeodezik eğriler, dünya yüzeyindeki gerçek uçuş rotalarını %100 doğrulukla temsil etmektedir. Geleneksel düz çizgi (Euclidean) yaklaşımının aksine, bu çalışmada kullanılan küresel trigonometri temelli modelleme, mesafelerin WGS 84 elipsoidi üzerinde gerçekçi bir şekilde hesaplanmasını sağlamıştır.

6.2. Teknik Kararlılık ve Adaptasyon

Yazılım geliştirme sürecinde karşılaşılan API uyumsuzlukları, projenin en önemli öğrenme çıktılarını oluşturmuştur. QGIS 3.34+ sürümlerindeki kütüphane değişikliklerine (SaveVectorOptions vb.) sağlanan adaptasyon, yazılımın güncel sistemlerde sorunsuz çalışmasını garanti altına almıştır. Ayrıca, verilerin GeoJSON formatında dışa aktarılabilmesi, üretilen analizin taşınabilirliğini ve diğer platformlarla (Web GIS, Google Earth vb.) entegrasyonunu mümkün kılmıştır.

6.3. Operasyonel Katkı ve Kullanılabilirlik

Dinamik MapTips ve tematik semboloji kullanımı, karmaşık uçuş ağlarının analizini basitleştirmiştir. Uçuş yoğunluğuna göre kalınlaşan çizgiler ve fare ile üzerine gelindiğinde anlık beliren mesafe bilgileri, kullanıcıya karar destek süreçlerinde hızlı ve sezgisel bir deneyim sunmaktadır.

7. KAYNAKÇA

QGIS Documentation (2025): "PyQGIS Developer Cookbook". [Erişim: <https://docs.qgis.org/>]

Openpyxl Documentation (2024): "A Python library to read/write Excel 2010 xlsx/xlsm files".

Vincenty, T. (1975): "Direct and Inverse Solutions of Geodesics on the Ellipsoid with Application of Geocentric Methods". Survey Review.

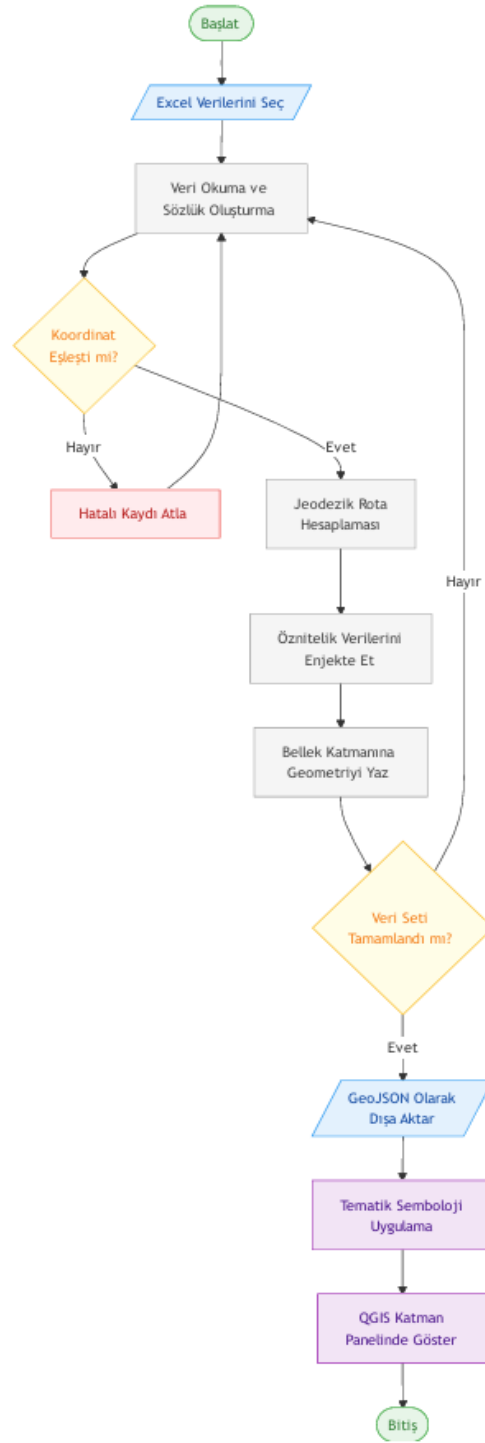
OSGeo (Open Source Geospatial Foundation): "WGS 84 (EPSG:4326) Coordinate Reference System Definition".

Python Software Foundation: "Python Language Reference, Version 3.9+". [Erişim: <https://www.python.org/>]

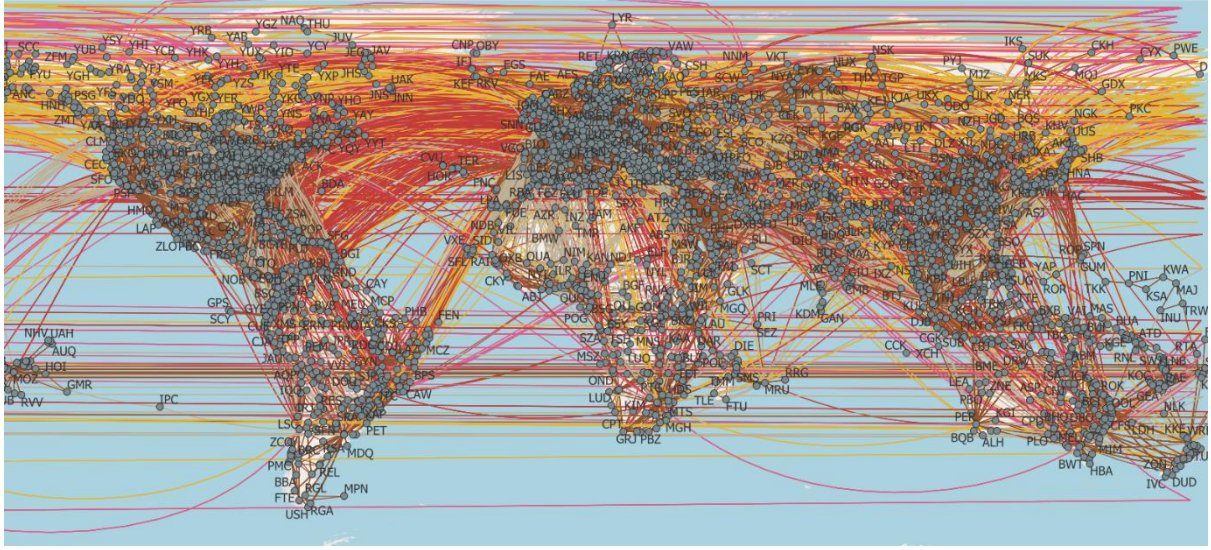
Riverbank Computing: "PyQt5 Reference Guide"

Bildirici, İ. Ö. (2018): Kartografya, Atlas Akademi Yayınları.

8. EKLER



Ek-1 Üretilen Programın Flowmap Şeklinde Gösterimi



Ek-2 Tüm Veri Seti Kullanılarak Elde Edilen Harita