



**T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**SAYISAL ARAZİ MODELİNE DAYALI
HİDROLOJİK ANALİZLER İLE SEL RİSKİ
HARİTALARI OLUŞTURMA: KAMERUN
DOUALA UYGULAMASI**

Amadou GBETNKOM PETOUONCHI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

**Kasım-2020
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Amadou GBETNKOM PETOUONCHI tarafından hazırlanan “SAYISAL ARAZİ MODELİNE DAYALI HİDROLOJİK ANALİZLER İLE SEL RİSKİ HARİTALARI OLUŞTURMA: KAMERUN DOUALA UYGULAMASI” adlı tez çalışması 19/11/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Kartografya Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Prof.Dr. İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ

.....

Üye

Doç. Dr. Ramazan ALPAY ABBAK

.....

Üye

Doç. Dr. Hüseyin ZAHİT SELVİ

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Amadou GBETNKOM PETOUONCHI

Tarih: 15/11/2020



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SAYISAL ARAZİ MODELİNE DAYALI HİDROLOJİK ANALİZLER İLE SEL RİSKİ HARİTALARI OLUŞTURMA: KAMERUN DOUALA UYGULAMASI

Amadou GBETNKOM PETOUONCHI

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof.Dr. İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ

2020, 48 Sayfa

**Prof.Dr. İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ
Doç. Dr. Ramazan Alpay ABBAK
Doç. Dr. Hüseyin Zahit SELVİ**

Douala şehri, Atlas okyanusundan 30 kilometre uzaklıkta bulunan bu liman kenti, sağladığı iş imkânlarından dolayı ülkenin diğer bölgelerinden Douala şehrine insan göç etmektedir. Bu çalışmanın amacı Douala şehrinde meydana gelen sel artışı deniz seviyesi yükselişine bağlı olup olmadığını ve sel riski bölgeleri simülasyon yöntemi ile ortaya koymaktır. Bu çalışma ile merkezi ve yerel yöneticilere bir karar destekleyicisi olmayı hedeflenmektedir. Bu çalışmada geçmişte meydana gelen sel olayları tarayarak özellikle 1980-2000 ve 2000- 2018 dönemler arasındaki sel sayısı incelendi. İkinci olarak Douala şehrine ait SYM verileri üzerinde SAGA GIS ve QGIS uygulamalarının yardımı ile hidrolojik analizleri yapılarak havza ve drenaj sistemini oluşturulup, Deniz seviyesinin en fazla 1 m ve 2 m'ye kadar yükselişi için simülasyon yapılarak riskli bölgeleri haritalandı.

Sel haberlerin analizinin sonucunda 1980'den 2000'e kadar az sel olayı yaşandığını, fakat 2000'den itibaren hemen hemen her yıl en az bir sel olayı yaşandığını görülmektedir. Douala şehrinde meydana gelen sel hem doğal hem insani faktörlerden kaynaklanmaktadır. Douala şehrinin, topografyaya ve toprak yapısına göre güney bölgesinin çoğu yeri deniz seviyesine çok yakın (0,5 ile 1 metre) olması nedeniyle sel için en riskli bölgelerdir. Şehrin kuzeyi ise deniz seviyesine göre daha yüksekte kaldığı için topografik açıdan sel riskli bölge değildir fakat insan kaynaklı faktörler açısından sel riskli bölgedir.

Topografik açıdan deniz seviyesinin yükselmesi, Bonaberi, Youpwe, Daido gibi bataklık yerler su altında kalabilmektedir. Fakat önlem olarak bu bataklık yerler topraklarla doldurularak yerleşim yeri hale getirilmiştir. Bu önlem, doğal drenaj sistemini bozarak yüzey akış suyunun birikmesine neden olmaktadır. Böylece insan kaynaklı nedenlerden dolayı sel olayı çoğalmaktadır. Yapılan diğer bir çalışmada 1986 ve 2017'e ait arazi kullanımının haritasını yapıldı. 1986'da Douala şehrinin yerleşim yeri 10.708 hektar iken, 2017'de 24.726 hektara çıkmıştır. Yerleşim yeri büyümesi, yeşil alanları yok edilmesine neden olmaktadır.

Douala şehrinde son yıllarda gittikçe artan sel olayları nüfus artışı ile doğrudan ilişkilidir. Nüfus artışı getirdiği yerleşim yerlerinin ihtiyaçlarını karşılamak için insanlar sel riskli bölgelere yönelmektedir. Nüfus artışının sebebi ise daha iyi imkân peşine düşen insanlardır. Bu insanlar ülkenin dört köşesinden gelmektedir. Devlet olarak önlemlerin alınmaya başlanması, sel riski ile ilgili bilincini göstermektedir

Anahtar Kelimeler: Afet yönetimi, Hidrolojik analizler, Sel, sel felaketi, Nüfus artışı, SRTM SYM.

ABSTRACT

MASTER THESIS

FLOOD RISK MAPS BY USING HYDROLOGICAL ANALYSIS BASED ON DIGITAL ELEVATION MODELS: CASE STUDY IN DOUALA CAMEROON.

Amadou GBETNKOM PETOUONCHI

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Geomatic Engineering**

Advisor: Prof. Dr. İbrahim ÖZTUĞ BİLDİRİCİ

2020, 48 Pages

Jury

**Prof. Dr. İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ
Assoc. Prof. Dr. Ramazan Alpaz ABBAK
Assoc. Prof. Dr. Hüseyin Zahit SELVİ**

Douala is a port city, located at 30 kilometres from the Atlantic Ocean, offering good life opportunities which cause human mobility from other parts of the country. The aim of this study is to reveal whether the flood in the city of Douala is due to the sea level rise and to simulate flood risk zones. The study additionally aims to be a support for central and local administrators. In this study, the number of floods between 1980-2000 and 2000-2018 was examined by scanning the flood events in the city of Douala. Secondly, by using SAGA GIS and GIS, hydrological analyses on the DEM data of the city of Douala were made and the basin and drainage system were created. After that the risky areas were mapped by simulating the rise of the sea level up to 1 m and 3 m.

As a result of the analysis of the flood news, it is discovered that there were few flood events from 1980 to 2000, but after and since 2000 almost every year, at least one flood event has been recorded. Flooding in the city of Douala is caused by both natural and human factors. The topographic and soil structure analyses of the city, has shown that most parts of the southern region are the riskiest areas as they are very close to sea level (0.5 to 1 meter high). The northern part of the city is not a flood risk zone in the topographic point of view since it is higher than the sea level, but human-induced factors cause flooding in that zone.

In topographic point of view, marshy places such as Bonaberi, Youpwe, and Daido can be submerged with rising sea level. However, as a precaution, these places were filled with soils and turned into a settlement. This measure disrupts the natural drainage system, causing the runoff water to accumulate. Thus, flooding is increasing due to anthropogenic reasons. The map of land use for the period between 1986 and 2017 showed that the settlement was 10,708 hectares in 1986; it increased to 24,726 hectares in 2017.

Floods that have been increasing in the city of Douala in recent years are directly related to the population growth. Population growth comes together with the need of settlement and to satisfy this need people turn to areas with flood risk. The cause of population growth is the seek of better opportunities that provides the city. These people come from all corners of the country. Measures taken recently by the government shows its awareness about the flood risk.

Keywords: Disaster management, Flood, Flood disaster, Population growth Hydrological analysis, STRM DEM,

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yürütülmesi sırasında korona salgının (covid-19) olmasına rağmen desteğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ' ye, Harita mühendisliğinde yüksek lisansını yapabileceğime ilk güvenen Doç.Dr. Ramazan Alpay ABBAK'a, bilimsel hazırlıktan Yüksek lisansının ders dönemine kadar bilimsel temelimi güçlendiren tüm hocalarıma şükranlarımı sunarım. Maddi ve moral desteğini vermeyi hiç ihmal etmeyen aileme minnettarım.

Amadou GBETNKOM PETOUONCHI
KONYA-2020



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
İÇİNDEKİLER	iv
1. GİRİŞ	1
1.1 Sel Felaketi: Küresel Tehdit	1
1.1.1 Dünyada görülen sel türü ve nedenleri	2
1.2 Sel Felaketi Nedenleri ve Oluşan Zararlar Açısından Genel Değerlendirme	2
1.2.1 Sel oluşumun nedenleri	2
1.2.2 Sel felaketinin insani ve maddi etkileri	3
2 ÇALIŞMA ALANI: DOUALA ŞEHİRİ	5
2.1 Kamerun: Genel Değerlendirme	5
2.1.1 Kamerun coğrafi konum ve topografyası	5
2.1.2 Kamerun iklimi	6
2.1.3 Kamerun yönetim şekli	6
2.2 Kamerun Genelinde Sel Değerlendirmesi	8
2.3 Douala Şehri Genel Değerlendirme	8
2.3.1 Çalışma alanı tanıtımı ve konumu: Douala şehri	8
2.4 Douala Şehrinin Sele Duyarlılık Bakımından Doğal Özellikleri	9
2.4.1 Douala şehrinde hidrolojik ağların yoğunluğu	9
2.4.2 Douala şehrinin topografyası	10
2.4.3 Douala şehrinin yağış ve gelgit rejimi	12
2.4.4 Douala şehrinin toprak özellikleri	14
2.5 Douala Şehrinin Nüfus Yoğunluğu	14
2.6 Douala Şehrinde Selin Zamansal ve Mekânsal Dağılımı	16
3 DOUALA ŞEHİRİ: ANALİZ VERİLERİ VE YÖNTEMLER	19
3.1 Sayısal Yükseklik Modeli (SYM): Veri Özellikleri	19
3.1.1 Global sayısal yükseklik modellerinin gelişimi	19
3.1.2 SYM verilerinin elde edilmesi	22
3.2 Sayısal Yüksek Modeli ile Hidrolojik Analizler	23
3.2.1 Hidrolojik analizlerde coğrafi bilgi sistemi kullanımı	23
3.2.2 SYM verilerinden drenaj ve su havzalarının oluşturulması	24
3.2.2.1 SYM verilerinin projeksiyon dönüşümü	24
3.2.2.2 SYM verisi ile otomatik havza ve drenaj sistemi oluşumu	24
3.3 Sele Bakımından Riskli Bölgelerin Belirlenmesi	28
3.3.1 Deniz seviyesine bağlı sel riski olan bölgeler	28
3.3.2 Yağışa bağlı sel riski altındaki bölgeler	30
4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	34
4.1 Sonuçlar	34
4.2 Öneriler	35
KAYNAKLAR	36



SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

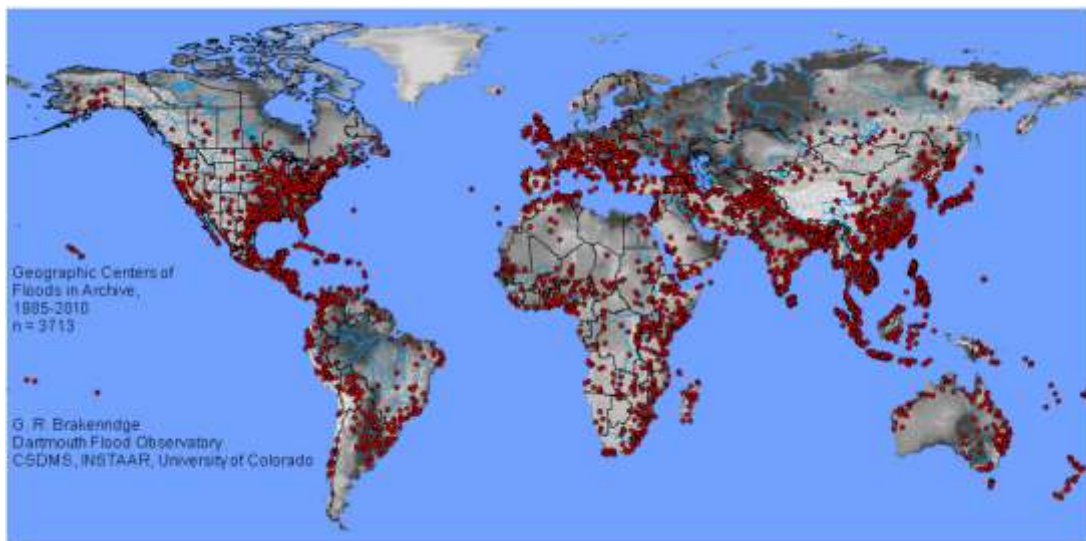
ASTER	: Gelişmiş uzay termal yayılma ve yansıma radyometre
AFAD	: Afet ve Acil durum yönetimi Başkanlığına
BUCREP	: Sayım ve Nüfus Etütleri Merkez Bürosu
CUD	: Douala Büyükşehir Belediyesi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
ESRI	: Environmental Systems Research Institute
ENVI	: Environment for Visualizing Images
INS-Cameroun	: Kamerun Ulusal İstatistik Enstitüsü
JPL	: Jet Propulsion Laboratory
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (Amerika Birleşmiş Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
NIMA	: National Imagery and Mapping Agency (Savunma Bakanlığı'nın Ulusal Görüntüleri ve Harita Ajansı)
NGA	: National Geospatial-Intelligence Agency
RGPH	: Genel Nüfus ve Konut Sayımı
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission
USGS	: United States Geological Survey
UTM	: Universal Transversal Merkator
WMO	: Dünya Meteoroloji Örgütü
WGS 84	: World Geodetic System 1984

1. GİRİŞ

Sel, insanlar ister kentsel alanların kıyısına yerleşmiş olsun ister dağ yamaçlarında yaşıyor olsun, isterse de çöllerde yaşıyor olsun her yerde rastlayabileceği bir doğa olayıdır. Sel çeşitleri vardır. Şiddetli yağmurlar sırasında, yetersiz drenaj sisteminden dolayı suların ana nehir kanallarının dolu olması ile meydana gelen taşmalar sonucu oluşan sellere sıklıkla rastlanır. Sel insan yaşam alanını etkileyen bir olaydır. Bu bölümde selin küresel boyutu, can ve mal kaybı açısından verdiği zararlar incelenecektir.

1.1 Sel Felaketi: Küresel Tehdit

Sel, dünyadaki doğal afetlerin en zararlı ve yıkıcı olanlardan biridir. Türkiye Afet ve Acil durum yönetimi Başkanlığı'na göre (AFAD) dünyada 31 değişik doğal afet olup ve bunların 28'i meteorolojik nedenlere bağlıdır (AFAD, 2020). Sel afetlerin insan yaşamı ve mallarına zarar veren yıkıcı bir olaydır (Paprony ve ark., 2018). Dartmouth Sel Gözlemevi, 1985 ile 2010 arasında dünya genelinde uydu yardımı ile 3713 sel merkezlerini kaydetmiş olup, (Şekil 1.1) 2017'de sel merkezi sayısının 4536'ya yükseldiğini açıklamıştır. Şekil 1.1'e bakıldığında sel olayının hemen hemen tüm ülkelerde meydana geldiği görülmektedir. Farklı ülkelerde sel türü ve uygulanan stratejileri değerlendirip daha iyi sel savunma stratejisi ortaya koymak için Mayıs 2005'te Hollanda'da düzenlenen Uluslararası Sel Savunması Sempozyumu'na 13 ülke (Arjantin, Bangladeş, Çin, Hırvatistan, Belçika, Macaristan, Endonezya, Japonya, Romanya, Hollanda, İngiltere, Amerika Birleşik Devletleri ve Vietnam) katılmıştır (Alphen ve ark., 2006). Sempozyum raporu, coğrafi konumu, kontrolsüz şehirleşme ve toprak özellikleri gibi nedenleri ortaya koymaktadır.



Şekil 1.1: Küresel sel merkezleri (Dartmouth Sel Gözlemevi 2010)

1.1.1 Dünyada görülen sel türü ve nedenleri

Sel, en çok kentsel alanlarda görülmekle birlikte hem kırsal hem de kentsel alanları etkilemektedir. Sel türleri vardır: Plüvyal sel veya yağışa bağlı seller, drenaj sistemlerindeki yetersizlik olması veya ana nehir kanallarında konut, yol gibi engellerin olması nedeniyle yerel yağış akışının birikmesi ile oluşmaktadır. Diğer sel türü nehir taşkınlarıdır. Nehir havzasında yağış veya hızlı kar erimesi nedeniyle biriken suyun boşaltması için nehrin kapasitesinin yetersiz kalması nedeniyle oluşur. Şiddetli rüzgârın olduğu fırtınalar ve kasırgaların neden olduğu dalgalanmalarının sonucunda deniz seviyesi yükselmesi ile yerleşim merkezlerinin su altında kalması bir başka sel türüdür. Yeraltında akan suyun toprak ve kayalardaki gözenekli boşlukları doldurması ile meydana gelen taşkınlar, yağmur, kar ve buzun erimesinden kaynaklanır.

1.2 Sel Felaketi Nedenleri ve Oluşan Zararlar Açısından Genel Değerlendirme

Sel sadece bir ülke veya bir kıtayı etkileyen bir doğal felaket olmayıp, yeryüzünü kara parçalarının tamamında görülmektedir. Sel ve taşkınların oluşum nedenleri ve oluşturduğu zararlar aşağıda tartışılacaktır.

1.2.1 Sel oluşumun nedenleri

AFAD seli dünyada ani gelişen doğal afetlerden biri olarak nitelendirmektedir. Doğal afet olsa da oluşumu sadece doğal faktörlerden kaynaklanmamaktadır. Antropojenik faktörler yani insan etkinliklerinden kaynaklanan nedenlerde söz konusudur.

Muson yağmurları, sel oluşumuna neden olan doğal faktörlerden biridir. Muson kaynaklı sel, uzak doğuda özellikle Bangladeş, Çin, Vietnam gibi ülkelerde görülmektedir. Bangladeş, her yıl ülkenin %30-60'ını kaplayacak şekilde muson kaynaklı sellere maruz kalan bir ülkedir (Alphen ve ark., 2006). Dağlık bölgelerde şiddetli yağışlar nedeniyle Arjantin, Bangladeş, Çin, Endonezya, Japonya, ABD, İngiltere, Vietnam, Kamerun gibi ülkelerde ani sel oluşumuna neden olmaktadır (Alphen ve ark., 2006). Nadiren görülen sel nedenleri ise yağış ile toprak özelliklerine bağlı olanlardır.

Günümüzde iklim değişikliği ile özellikle hava ısınmasından dolayı deniz seviyesi yükselmektedir. Deniz seviyesinin yükselmesini etkileyen faktörler arasında okyanus suyunun genleşmesi, Grönland ve Antarktika buzunun erimesi sayılabilir. Grönland ve Antarktika buz tabakaları, deniz seviyesini yaklaşık 70 m yükseltmek için yeterli su içermekte olup, hacimlerindeki küçük değişiklikler önemli bir etkiye sahiptir (Dasgupta ve ark., 2007). Deniz seviyesinin yükselmesi, Filipin gibi bazı bölgelerin su

altında kalmalarına neden olmaktadır. 1993'te ölçülmeye başlanan deniz seviyesi her yıl yaklaşık 2,9 ile 3,2 mm yükseliş kaydedilmiş ve 20.yüzyılın başından bu yana, deniz seviyesi küresel olarak 19 cm olarak yükselmiştir (WMO, 2014). 21 yüzyılda küresel deniz seviyesinin 1 m civarında yükseleceği ön görülmektedir (Church ve ark., 2006). Küresel ısınma sel oluşumunu etkileyen doğal faktörlerden biri olmuştur. Gittikçe değişen iklim nedeniyle gelecekte özellikle bazı kıyı şehirlerinin su altında kalacağı tahmin edilmektedir. Değişen iklimi ve toplum üzerindeki etkisi hakkındaki gerçekleri araştıran ve raporlayan önde gelen bilim adamları ve gazetecilerin bağımsız bir organizasyonu olan Climate Central'ın yaptığı 2050 projeksiyonlarına göre Bangkok (Tayland), Gan Tho (Kamboçya), Teluk Intan, Taiping (Malezya), Habiganj, Khulna (Bangladeş), Batı Bengal kıyıları (Hindistan), Basra, Amara (Irak), İskenderiye (Mısır), Douala (Kamerun) kıyıları su altında kalacak bölgeler arasındadır (Climate central, 2020).

Sel oluşumunu özellikle kentsel bölgelerde kolaylaştıran antropojenik faktörler vardır (Ming-Hsi ve ark., 2000). Kentsel alanlara nüfus arttıkça yerleşim yeri ister istemez büyümek zorundadır. Yeni yerleşim yerlerinin oluşumu, genelde kontrolsüz ve plansız (dere yatakları gibi riskli bölgelerin yerleşime açılması) bir şekilde gerçekleşmektedir. Kentsel alanda ani sel oluşumunun nedenleri arasında yol ağının yanlış planlanması, boru ve drenaj sistemlerinin bakımının yapılmaması sayılabilir (Amelie, 2018).

Kırsal alan ile kentsel alanda meydana gelen seller farklılık göstermektedir. Kentsel alanda meydana gelen sel şiddetli ve daha yıkıcıdır. Sel, meydana geldiği bölgelerde zarar vermeden geçmemektedir.

1.2.2 Sel felaketinin insani ve maddi etkileri

Yukarıda selin çok yıkıcı olabilen ve hemen hemen tüm ülkelerde görülen doğal afetlerden biri olduğu tartışıldı. Yıllardır can ve mal kaybına sebep olmuştur ve olmaya devam etmektedir. 2014 yılı Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO), verilerine göre 1970 ile 2012 arasında fırtına ve seller 1 milyondan fazla ölüme neden olmuştur. 2014'te sel Mozambik'te 113 kişinin ölümüne ve 185.000 kişinin göç etmesine neden olmuştur. Aynı yıl Pakistan'da taşkınlar yaklaşık olarak 200.000 km² alanı kaplamış, 250 ölüme ve 1,5 milyon dolar maddi zarara yol açmıştır (WMO, 2014).

Pakistan'daki 2014 afetinden önce, "2010 Mega Seli/Taşkını" olarak adlandırılan hem kırsal hem de kentsel alanda meydana gelen afet yaklaşık 20 milyon kişiyi etkilemiş, 10 milyon dolar maddi zarara yol açmıştır (2010'ın Gayri safi yurt içi

hasılanın %5,5'i). Bu, deniz kaynaklı taşkın olup, ortalama 5 yılda bir gerçekleşmektedir (Thomas ve ark., 2012).

Şubat 2020'de İran'ın birçok bölgesinde sel felaketi yaşanmıştır. Ülkenin batısındaki İlam eyaletine bağlı Serabele ilçesinde sel nedeniyle 25 konuta ulaşım sağlanamadı ve İlam kentinde sel nedeniyle su kanalına düşen 1 kişi hayatını kaybetti. Maddi hasarlara da neden oldu, Loristan eyaletine bağlı Delfan ilçesinde 3 köprü yıkıldı ve 40 köyün yolu ulaşımına kapatıldı. (Hürriyet, 2020).

Çin'de 7 Mayıs 2018'de başlayan yağmur, ülkenin güneyini olumsuz etkiledi. Sel nedeniyle 3 kişi hayatını kaybederken 2 kişi kayboldu. Ülke genelinde 70.000 kişi selden etkilendi, 6.100 kişi tahliye edildi. Maddi zarar 14,3 milyar dolar olarak açıklandı (Yiğit, 2018).

Türkiye'de de sel olayları son yıllarda artarak yaşanmaya devam etmektedir. 1955 ile 2004 yılları arasında Türkiye genelinde 1.796 adet nehir seli yaşandı ve bu sel felaketleri maddi zararların yanı sıra 1.030 kişinin hayatını kaybetmesine neden oldu. (Özcan, 2006). 2019'da Avrupa genelinde sellerin neden olduğu ölüm sayısını ortaya koymak için yapılan çalışmanın haberi yapan Anadolu Ajansı'nın yazarı Hanife Sevinç'e göre Türkiye'de son 39 yılda 1,242 kişinin hayatını kaybetti (Sevinç, 2019). Haber kanallara baktığımız zaman Türkiye'de her yıl birden fazla sel olayı yaşandığını görmekteyiz. En yakın tarihte meydana gelen olaylar Temmuz 2020'de Artvin'in Yusufeli ilçesinde etkili sağanağın getirdiği selin sonucunda 3 kişi aynı aileden olmak üzere 4 kişi hayatını kaybetti (Başar ve ark., 2020).

Bu benzer olaylar diğer ülkelerde de her yıl görülmektedir ve afet sayısı giderek artmaktadır.

2 ÇALIŞMA ALANI: DOUALA ŞEHİRİ

Afrika ülkelerin kentsel bölgeleri, yağışlı mevsim boyunca sellere maruz kalmaktadır (Diongue, 2014). Ekim 2010'da Cotonou, Ağustos 2012'de Dakar ve Niamey; Nisan 2016'da Nairobi ve Temmuz 2018'de Douala şehirlerde sel baskını yaşanmıştır. Munichre sigorta şirketine ait NatCat veri tabanına göre 1980 ile 2017 arasında 5.785 sel olayı kaydedilmiş olup, bunlardan 987'si Afrika kıtasında yaşanmıştır (Laurent ve ark., 2019). Sel ile ilgili Afrika ülkeleri hakkında yapılan çalışmalarda sel olaylarının giderek arttığı, bunda nüfus artışının önemli bir rolü olduğunu öne sürülmektedir. Çalışma alanı olan Douala şehri diğerlerine göre bir istisna değildir. Douala şehrine geçmeden önce Kamerun üzerinde durmakta fayda vardır. Bu bölümde Kamerun genel değerlendirmesini yapıp ardından Douala şehrinin üzerinde durulacaktır.

2.1 Kamerun: Genel Değerlendirme

Bu bölümde orta Afrika ülkelerinden biri olan Kamerun hakkında topografyası, iklimi ve yönetim şekli gibi genel bilgiler verilecektir.

2.1.1 Kamerun coğrafi konum ve topografyası

Kamerun, Orta Afrika'da, 01° 40' ve 13° 04'K enlemleri, 08° 40' ve 16° 10'D boylamları arasında bulunan bir ülkedir. Yüzölçümü 475.442 km² (472.712 km² kara ve 2.730 km² Su) ve en yüksek noktası 4.070 metreye ulaşmaktadır. Kabaca üçgen şeklinde olan Kamerun kuzeyinde Çad, doğusunda Orta Afrika Cumhuriyeti; batısında Nijerya, güneyinde Gabon ve Ekvator Ginesi ile komşudur.

Kamerun dağlar ve platolarla (düz arazi) karakterize edilmektedir. Kuzeyde, 1.442 m'ye ulaşan Mandara Dağları; inselbergs ve lav üslerinden oluşan dik eğimli bir bölgedir. Bu bölgenin yanı sıra küçük volkanik dağlarla çevrilmiş, 900 ile 1.500 m arasında değişen yüksekliğe sahip Adamaoua platosu, Güney Kamerun platosuna doğru uzanmaktadır. Güney Kamerun platosu, batı ve kuzeyinde 2.460 m yüksekliğe ulaşan Mambila, Tchabal Mbabo ve Poli gibi dağlarla çevrilmektedir. Batısında bulunan ve batı platosu olarak adlandırılan bölge ise bir dizi basamaklı platodan ve bir dizi yüksek volkanik kabartmalardan oluşmaktadır. Söz konusu olan üç ana plato: Bamiléké platosu (1.400-1.800 m), Bamoun platosu (1.100- 1.200 m) ve otlaklar (1.500- 2.000 m) büyük yamaçlarla ayrılmıştır. Yüksek volkanik yükselti: Oku Dağı (3.008 m), Bamboutos Dağı (2.740 m), Manengouba Dağı (2.396 m) Kamerun Dağı (4.095 m). Bu dizi yüksek dağlar Atlas Okyanusu kıyıları ile sona ermektedir.

2.1.2 Kamerun iklimi

Kamerun'un bulunduğu coğrafi konumuyla iklim etkinlikleri Afrika musonuna bağlı olup, doğu ve batı Afrika arasında bulunması çeşitli iklim bölgelerinin oluşmasına neden olmuştur. Muson, Sahel bölgesinde yer alan ülkeler için mucizevi bir yaşam kaynağı niteliğindedir (Poan, 2013). Kamerun'un üçgen şekli, çeşitli iklim etkinlikleri yaşamasına neden olmaktadır. Güneyinde ekvatorial iklim hâkimdir ve bol yağış alır (yılıda 1.000 mm'den fazla). Bu bölgede tam sıcak mevsimden bahsedilmemektedir Sıcak mevsim olarak bilinen dönem aralık ile ocak ve temmuz ile ağustos aylarında meydana gelen az yağışlı dönemdir. Sabit sıcaklık (25 °C); Ekvator'dan uzaklaştıkça azalan ve türü değişen bitki örtüsü ile karakterize edilmektedir.

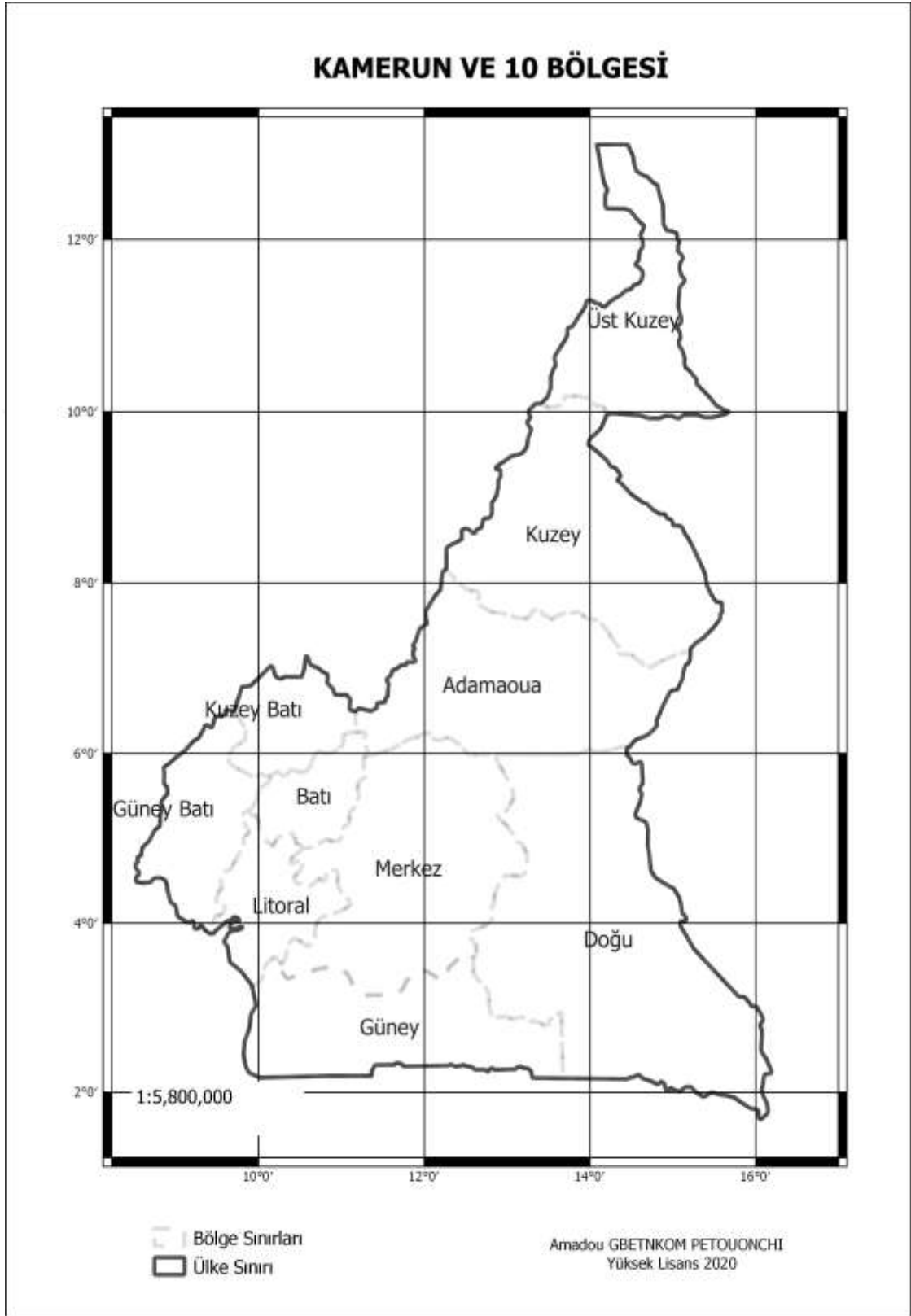
Kuzey Kamerun'da ise tropikal iklim egemendir. 6° Kuzey paralelinden kuzeye doğru bu iklim tipi değişiklikler göstermektedir. Bu değişiklik arazi özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Kuzey Kamerun'da tropikal iklim, nemli tropikal ve sudano-sahelyen olmak üzere ikiye ayrılır.

Kamerun'un coğrafi konumuna bağlı farklı iklim bölgelerinden dolayı, bitki örtüsü bölgesel bir dağılıma sahiptir. Güneyde yağmur ormanları, ortasında savan bitki örtüsü ve kuzeyinde ise bir steptir (yarı kurak).

2.1.3 Kamerun yönetim şekli

Kamerun farklı yönetim sistemlerinden geçmiş bir ülkedir. 1960'ta Fransız ve 1961'de İngiliz Kamerun bağımsızlığa kavuşurmuştur. Bu iki Kamerun, 1 Ağustos 1961'de federal yönetime alınmıştır. 12 yıl sonra yani 2 Temmuz 1972'de iki ülke birleşerek tek bir ülke hale gelmiş ve 4 Şubat 1984'te birleşmiş Kamerun, Kamerun Cumhuriyeti adını almıştır (Annuaire, 2015).

Kamerun, 10 bölge, 58 şehir ve 360 ilçe olarak bölünmüştür. Bölgeler: Üst Kuzey, Kuzey, Adamaoua, Merkez (iç), Doğu, Litoral, Güney, Batı, Kuzey-Batı ve Güney-Batı'dır. Her şehrin başında merkezi yönetime bağlı valilik bulunur (Annuaire, 2015). Bizim çalışma alanımız olan Douala şehri, Kamerun güney kısmında bulunan Litoral bölgesinde olup ülkenin ekonomik başkenti olarak kabul edilir.



Şekil 2.1: Kamerun ve 10 bölgesi

2.2 Kamerun Genelinde Sel Değerlendirmesi

Kamerun'da 2007 ile 2015 arasında sel felaketinden 367.000 kişi etkilenmiştir (Olivier ve ark., 2015). Sel felaketi, Douala şehri (Litoral bölgesi: enlemi 4° ile 4° 10' K, 9° 35' ve boylam 9° 80' D), Yaounde şehri (Merkez bölgesi: enlem 3° 52' 00" K, Boylam 11° 31' 00" D), Maga (Kuzey bölgesi: Enlem 10° 32' 57" ve 11° 58' 00" K, Boylam 14° 34' ve 15° 10' 13" D) kentsel alanlarda gittikçe artmaktadır. Seli kolaylaştıran faktörler arasında nüfus ve morfolojinin yanı sıra toprak özellikleri önemli rol oynamaktadır. Örneğin Maga ve çevresi killi ve kumlu toprağa sahiptir. Kumlu topraklar yeraltı suyunun yüzeye çıkışını kolaylaştırırken killi toprağın geçirimsizlik özelliği yüzey suyunun, özellikle yağıştan oluşan suyun yer altına geçmemesine neden olmaktadır (Olivier ve ark., 2015). Yılda 5 ile 10 defa sel felaketi meydana gelmektedir ve her defasında yaklaşık 10 can kaybı ve maddi zarar oluşmasına neden olmaktadır (Olivier ve ark., 2015).

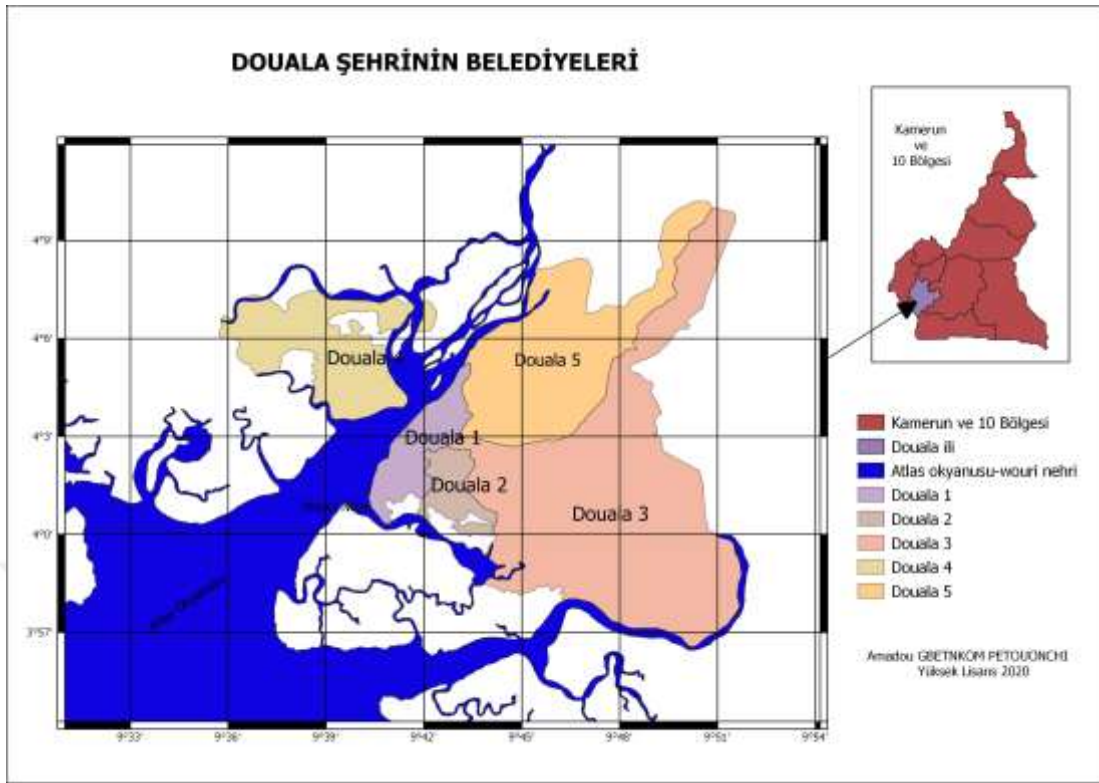
Kamerun'un kentsel alanlarını her yıl tehdit eden bu selin meydana gelişini kolaylaştıran faktörlerden biri de nüfus artışı ile birlikte yok edilen yeşil alanlardır. Kentsel alanlardaki hızlı artan nüfus, yeni yerleşim alanların açılması, yeşil alanları azaltmakta ve sel şiddetini güçlendiren geçirimsiz yüzeylerin miktarını arttırmaktadır (Hyomin ve ark., 2016). Hızlı artan bir nüfusa sahip Kamerun'da, gelişme ve iş imkânlarının kentsel alanlarında yoğunlaşması nedeniyle kırsal alanlardan kentlere göç yaşanmaktadır. Bu göç, Douala şehrinde de görülmektedir.

2.3 Douala Şehri Genel Değerlendirme

Bu bölümde çalışma alanı olan Douala ile ilgili genel bilgi verildikten sonra, bu şehirde sel oluşumunu kolaylaştıran doğal ve insani faktörlerin yanı sıra geçmişte meydana gelen sel olayları da ele alınacaktır.

2.3.1 Çalışma alanı tanıtımı ve konumu: Douala şehri

Çalışma alanı olan Douala, 4 ° ile 4 ° 10 ' K enlemi ile 9 ° 35' ve 9 ° 80 ' D boylamı arasında yer almaktadır. Gine Körfezi'nde Wouri nehri ve Atlantik Okyanusu'ndan 30 kilometre uzaklıkta bulunan ve ülkenin 10 bölgesinden biri olan Litoral bölgesinde yer alan bir liman kentidir. Douala, Kamerun'un ve Orta Afrika ülkelerinin (Çad, Orta Afrika Cumhuriyeti vb.) Atlas Okyanusu'na yurtdışı deniz yolu giriş ve çıkış kapısıdır. Yüzölçümü 20 248 km² olup, ülkenin %4,3'üne karşılık gelmektedir (Amelie, 2018). Douala bir büyükşehirdir ve Douala Büyükşehir Belediyesi tarafından yönetilmektedir. Douala, 5 ilçeye (Douala 1, Douala 2, Douala 3, Douala 4 ve Douala 5) ayrılmaktadır.



Şekil 2.2: Douala şehrinin belediyeleri

2.4 Douala Şehrinin Sele Duyarlılık Bakımından Doğal Özellikleri.

Yukarıdaki bölümlerde sel oluşumuna neden olan faktörlerin hem doğal hem de insan kaynaklı olduğu belirtilmiştir. Bu bölümde Douala şehrinde hidroloji, topografya ve yağış gibi sele yol açan faktörler incelenecektir.

2.4.1 Douala şehrinde hidrolojik ağların yoğunluğu

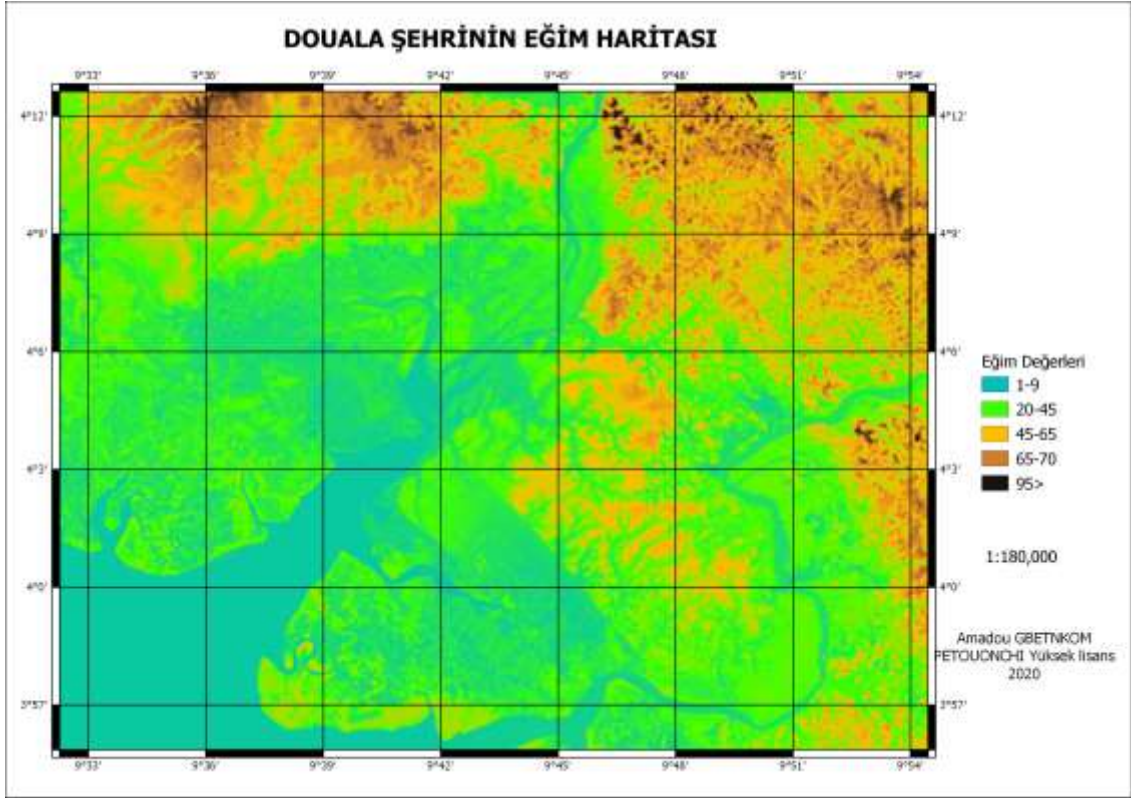
Litoral bölgesinde bulunan Douala şehri, su kaynakları açısından zengin bir şehirdir. Douala şehri, Wouri nehri tarafından ikiye bölünmektedir. Daha önce yapılan çalışmalara göre Douala şehrinde 9 akarsu havzası (Bonassama, Besséké, Bobongo, Mgoua, Kambo, Nsapé, Mbopi, Mbanya ve Tongo Bassa) bulunmaktadır. Bu havzalar Wouri nehrine dökülmektedir (Amelie, 2018). Burada havza, üzerinde düşen yağış sularını belirli akarsu kesitine gönderen ve komşu havzalardan, sırtlardan geçen bir su ayırım çizgisiyle (topografik sınır) ayrılan alan, hidrolojik, topografik bir ünite olarak tanımlanmaktadır. Bu tez çalışmasında SAGA GIS ile yapılan analizlerin sonucunda 4 tane ana havza olduğunu tespit edilmiştir. Bu 4 havza Amelie'ye ait olan 9 havzayı da kapsamaktadır. Analizlerimiz sırasında neden 9 havza değil, 4 havza ortaya çıktığını anlamak için çalışmalarımızı farklı yönlerde yaptık ve ortaya çıkarttığımız bulgular: Çalışma alanına ait SYM verilerindeki veri kopukluğundan dolayı 1 havza olması

gereken yerlerde 2 veya 3 havza ortaya çıkmaktadır. Çünkü havza belirleme algoritmaları akarsu ana ve yan kollarının bağlantılarına göre çalışmaktadır. Birbirine bağlı ana akarsu ve yan kolları arasında bir boşluk olursa birden fazla havza oluşmaktadır. İkinci sebebi ise su birikimi oluşturmak için kullanılan yöntemlerdir. Bunlar arasında Deterministik (Mark ve ark., 1984), Çoklu Akış Yönü (Freeman, 1991), Deterministik Sonsuzluk (Tarboton, 1997) sayılabilir. Her metodun kendisine ait çalışma mantığı vardır. Bu metodların sonucu farklılıklar göstermektedir. Elde edilen havzalar, Şekil 3.2’de gösterilmektedir.

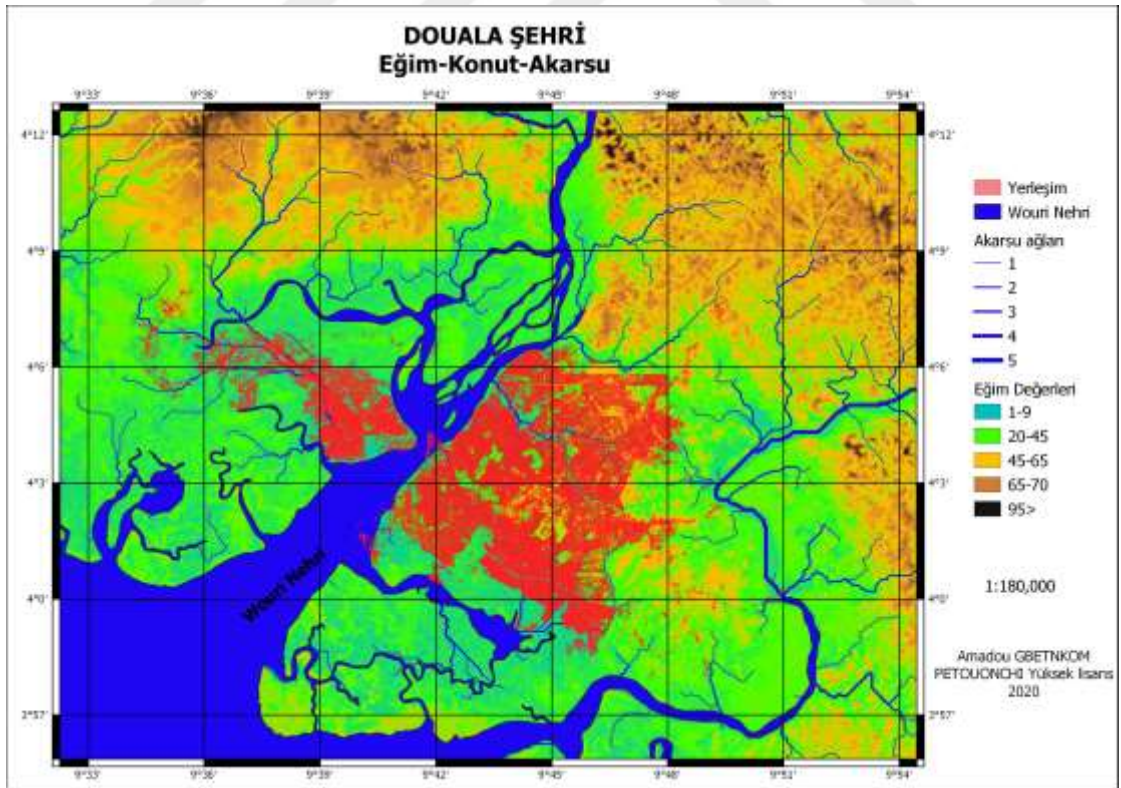
Wouri nehri, Douala şehrinin en büyük ve en uzun nehridir. Wouri’nin kaynağı batı Kamerun’daki platodan başlayıp Douala şehrinde geçerek Atlas Okyanusu’na dökülmektedir. Wouri nehrinin dışından, Douala şehrinin etrafı, Sanaga, Dibamba, Mounjo ve Nyong nehirleri ile çevrilidir. Douala şehrinin batı ve güney kısmı bir bataklıktır (CUD, 2011).

2.4.2 Douala şehrinin topografyası

Douala şehrinde farklı yeryüzü şekillerini görmek mümkündür. Şehir, 0 ila 10 metre arasında değişen ovalarla karakterize edilmektedir. Bu ovalar 20 ile 80 metre arasında değişen Joss, Akwa ve Bonapriso platoları ile bölünmektedir (CLUVA, 2015). Douala arazisi ovalar ve biraz yüksek olan platolar iki ana yeryüzü şeklinden oluşmaktadır. Ovalar iyi su tutma kapasitesine sahip olan alüvyondan oluşmaktadır. Ovalardaki hafif eğim yüzey akış hızını yavaşlatarak yağmur suyunun yüzeyde biriktirip sızmasını kolaylaştırmaktadır. Bu şartlar bataklık oluşumuna neden olmaktadır (Amelie, 2018). Douala’nın düz arazileri Mambanda, Bonaberi ve Bonendale bölgelerini kapsamakta olup, buradaki yoğun yapılaşma sele neden olan faktörlerden biridir (Meva'a ve ark., 2010). Şekil 2.4’e bakıldığında bazı konutların akarsu kollarının üzerinde yapıldığı görülmektedir. Bir diğer faktör ise ev atıklarının su kanallarına dökülerek suyun geçişine engel olmasıdır. Şekil 2.4’deki kırmızı alan yerleşim konutlarını göstermektedir. Bu konut verileri QGIS üzerindeki QuickOSM adlı açık kaynaklı modülünden indirilmiştir.



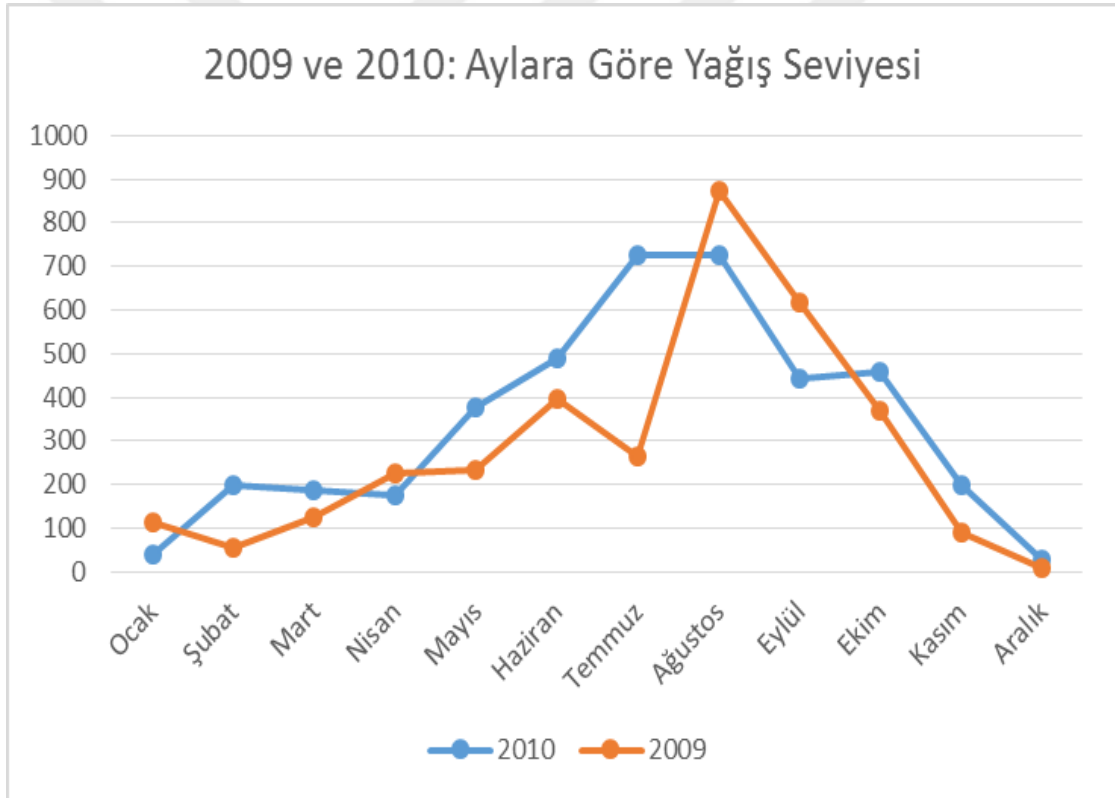
Şekil 2.3: Douala şehrinin eğim haritası



Şekil 2.4: Douala şehrinin eğim akarsu ve konutları

2.4.3 Douala şehrinin yağış ve gelgit rejimi

Douala'nın coğrafi konumu sel oluşumunu tetiklemektedir. Atlas Okyanusu'na yakın olmasından dolayı gelgit olayları, nemli rüzgâr ve şiddetli yağmuru getiren Muson iklimi etkisi altındadır. Yıllık yağış miktarı 4000 mm'dir. Kamerun Meteoroloji Enstitüsü verilerine göre Douala ve çevresi yıl boyunca şiddetli yağışa maruz kalmaktadır. Yağış şiddetinde sadece kasımdan şubat ayına kadar bir azalma yaşanırken mart ayından kasım ayına kadar (yağışın %80'i) şiddetli yağmur söz konusudur (Zogning ve ark., 2010). Kamerun Meteoroloji kurumundan elde edilen Douala yağış verilerine ile oluşturulan Şekil 2.5'de Mart kasım arası yağışlı dönemde temmuz ve ağustos aylarında yağış en büyük değerine ulaşır. Toprak düşen yağmuru emerek yeraltı suyunu beslemektedir. Bu süreçte toprak su ile dolu hale gelerek sel tehlikesi ortaya çıkar.



Şekil 2.5: Douala şehrinde 2009 ve 2010 yıllarında aylara göre yağış seviyesi

Douala şehrinde yağışın yanı sıra gelgit olayı da şehrin büyük kısmının su altında kalmasına yol açmaktadır. Yükselen su, nehirleri kanallarını besler ve taşarak yerleşimlerin su altında kalmalarına neden olur. Yukarıda gösterildiği gibi, Douala'nın büyük kısmı denizden sadece 1 m yüksek, bir kısmı ise 1 m altındadır. Douala'nın New-Bell, Congo, Mbopi, Mbanya, Tongo Bassa gibi yerleşim yerleri geçmişte deniz seviyesine çok yakındı. Bu alanlar daha sonra doldurularak yerleşime uygun hale

getirilmiştir (Amelie, 2018). Bu dolgu kısmen doğal su akışını bozmuş olup, yüzeyde suyun birikmesine neden olmaktadır (Meva'a ve ark., 2015). Litoral bölgesindeki haftalık gelgit olaylarına (Çizelge: 2.1) bakıldığında nisan ayında gelgit seviyesi 2,61 metreye kadar çıkabildiğini görülmektedir.

Çizelge 2.1: Douala şehrinde haftalık gelgit yüksekliği
<https://www.cabaigne.net/afrique/cameroun/douala/horaire-marees.html>

Douala'nın haftalık gelgit yüksekliği	
Gün ve Saat	Gelgit yüksekliği (m)
7.04.2020 00:21	0,47
7.04.2020 06:02	2,42
7.04.2020 12:47	0,37
8.04.2020 01:03	2,58
8.04.2020 07:05	0,39
8.04.2020 13:13	2,46
8.04.2020 19:27	0,36
9.04.2020 01:45	2,61
9.04.2020 07:50	0,35
9.04.2020 13:54	2,46
9.04.2020 20:07	0,39
10.04.2020 02:27	2,59
10.04.2020 14:36	0,35
10.04.2020 20:48	2,42
11.04.2020 03:09	0,47
11.04.2020 09:21	2,52
11.04.2020 15:18	0,4
11.04.2020 21:29	2,35
12.04.2020 03:53	0,58
12.04.2020 10:10	2,41
12.04.2020 16:03	0,48
12.04.2020 22:12	2,25
13.04.2020 04:40	0,71
13.04.2020 11:07	2,29
13.04.2020 16:54	0,84
13.04.2020 23:01	2,15

2.4.4 Douala şehrinin toprak özellikleri

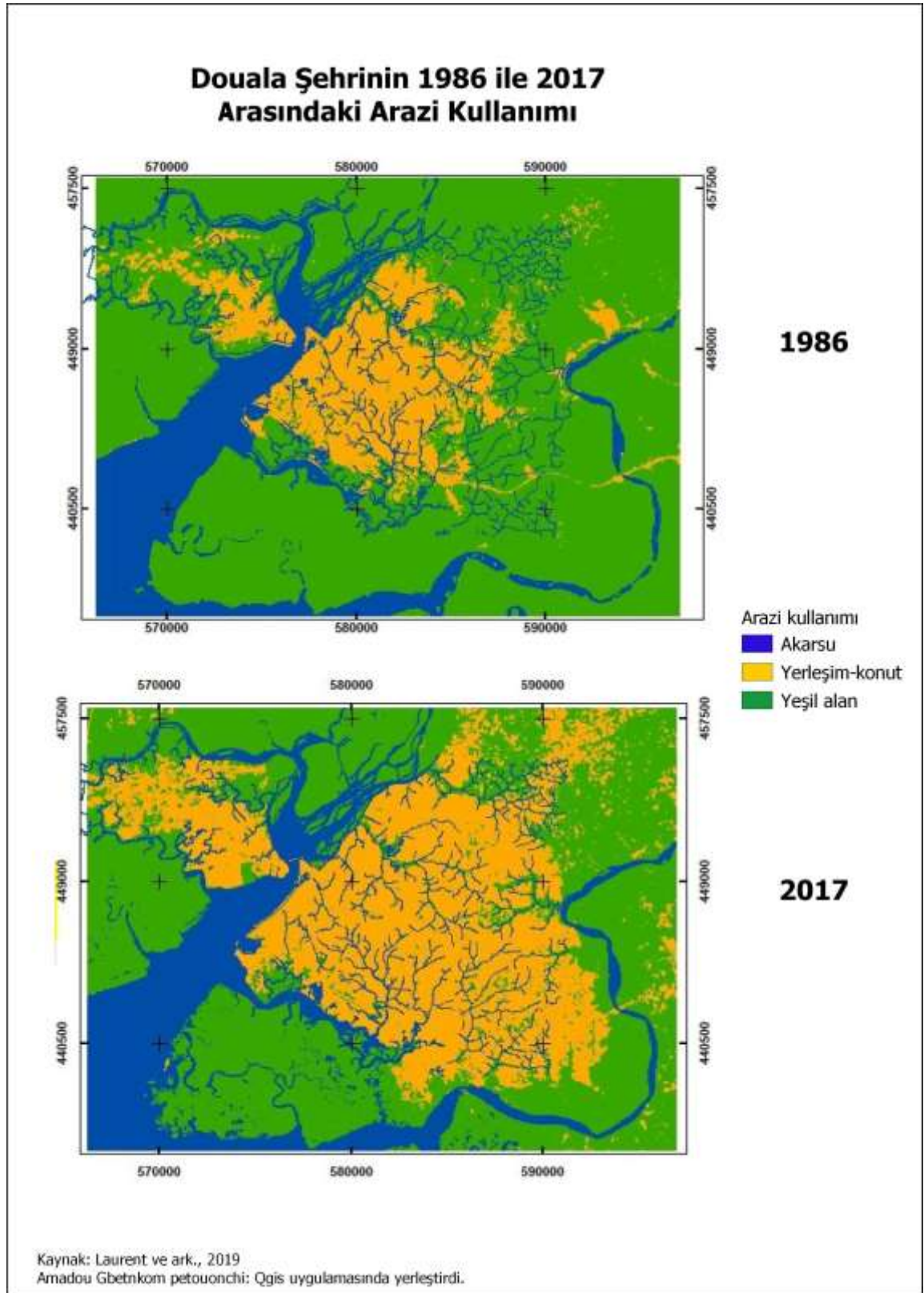
Toprak tipi, geçirimsizliği veya geçirimsizliği sel oluşumunda önemlidir. Kamerun Ulusal İstatistik Enstitüsü'ne (INS) göre Douala'nın toprağı, killi ve kumlu toprak olarak ikiye ayrılmaktadır (INS, 2015). 2009 yılında Douala Büyükşehir Belediyesi (CUD) tarafından yapılan çalışmalara göre kumlu topraklarda yeraltı su seviyesi 2 ila 5 m arasında değişmekte olup suyun yer altına sızma hızı saatte 1 ila 3 cm'dir. Killi topraklarda ise yeraltı suyunun seviyesi 1 m, sızma hızı saatte 1 cm'dir. Dolayısıyla yağmur mevsiminde çok şiddetli yağışların etkisi altındaki kumlu topraklar hızla doymuluk seviyesine ulaşır içlerindeki su yüzeye yukarıya doğru çıkar ve killi topraklarda ise toprak geçirimsizliğinden dolayı sızamayan yağmur suları akışa geçer. Akışa geçen su Douala şehrinin topografyası ve yapılan yapılardan dolayı birikmektedir. Bu sebepten dolayı şehirde sık sık su baskısını yaşarır.

2.5 Douala Şehrinin Nüfus Yoğunluğu

Douala şehri, Kamerun'un ekonomik başkenti ve nüfus açısından Üst Kuzey ve Yaounde şehrinden sonra ülkenin üçüncü büyük şehridir. Nüfusu 1950 yılında 100.000 kişi olarak tahmin edilmektedir. 2005 yılında Genel Nüfus ve Konut Sayımı (RGPH) tarafından yapılan nüfus sayımı sonrasında Douala şehrinin nüfusu 1.907.479 kişi ve %4,87 büyüme oranı (1987-2005) olarak açıklanmıştır (RGPH, 2005). 2005'te Douala nüfusu, Kamerun'un kentsel nüfusunun %10,92'sini (1976'da %6,9) oluşturmaktadır (Nsegbe ve ark., 2014). 2010'da Kamerun Sayım ve Nüfus Etütleri Merkez Bürosu (BUCREP) tarafından gittikçe artan Douala nüfusu 2,5 milyon olarak tahmin edilmiştir ve yine de BUCREP tarafından yapılan açıklamalarda 2025'e kadar 1,3 veya 1,6 milyon kişi artışı olacağını öngörülmektedir. Başka bir çalışmada ise Douala'nın nüfusunun 2035'te 3 kat artacağını öngörmüştür (INS-Kamerun, 2015). 2019'da Douala'nın yerleşimi, yasak ve yerleşime uygun olmayan yerlere kadar genişlemiştir. Nüfus artışı, yeni yerleşim yerlerine ihtiyaç doğmasına neden olmaktadır.

Daha önce yapılan bir çalışma için Earth Explorer sitesinden indirilen 1986 ve 2017 yıllara ait Landsat TM uydu görüntüleri ve Görüntüleri Görselleştirme Ortamı (ENVI) uygulaması yardımı ile yapılan sınıflandırmanın sonucundan elde edilen görüntüler Şekil 2.6'de gösterilmektedir. Bu çalışmanın amacı Douala şehrinin 1986 yılına ait yerleşim yerleri ile 2017 yılına has yerleşim yerlerini kıyaslanmaktır. 1986 yılında Douala şehrinde yerleşim yeri 10.708 hektardır. 31 yıl sonra yani 2017 yılında yerleşim yeri 24.726 hektara çıkmıştır. Bu 31 yıl boyunca ortalama olarak her yıl 452 hektar araziyi yerleşim yerine çevrilmiştir. Yerleşim yeri büyüdükçe yeşil alanlar

azalmaktadır. 1986'da yeşil alan 52.668 hektar iken 2017'de 38.659 hektar azaldı yani 31 yılda 14.000 hektar yeşil alan yok edildi (Laurent ve ark., 2019).



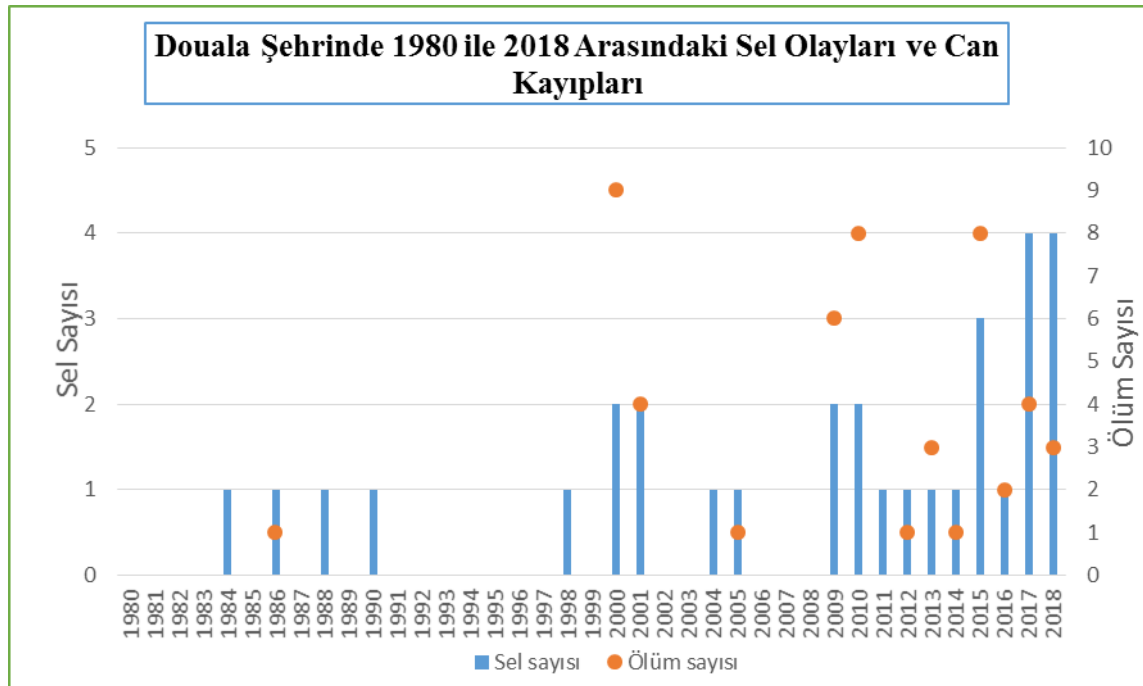
Şekil 2.6: Douala şehrinin 1986 ile 2017 yılları arasındaki arazi kullanımı

Yukarıda verilen rakamlardan da anlaşılacağı üzere, Douala şehrinde yakın gelecekte hiç yeşil alan kalmayacaktır. Sel felaketi hiç görülmemiş şiddetiyle vuracaktır ve şehir su altında kalarak tüm sosyoekonomik aktiviteler büyük darbe görecektir. Doğru kararlar verilirse bu zararlar en aza indirilebilir. Bu tezin amacı da doğru kararların alınmasına yardımcı olmaktır.

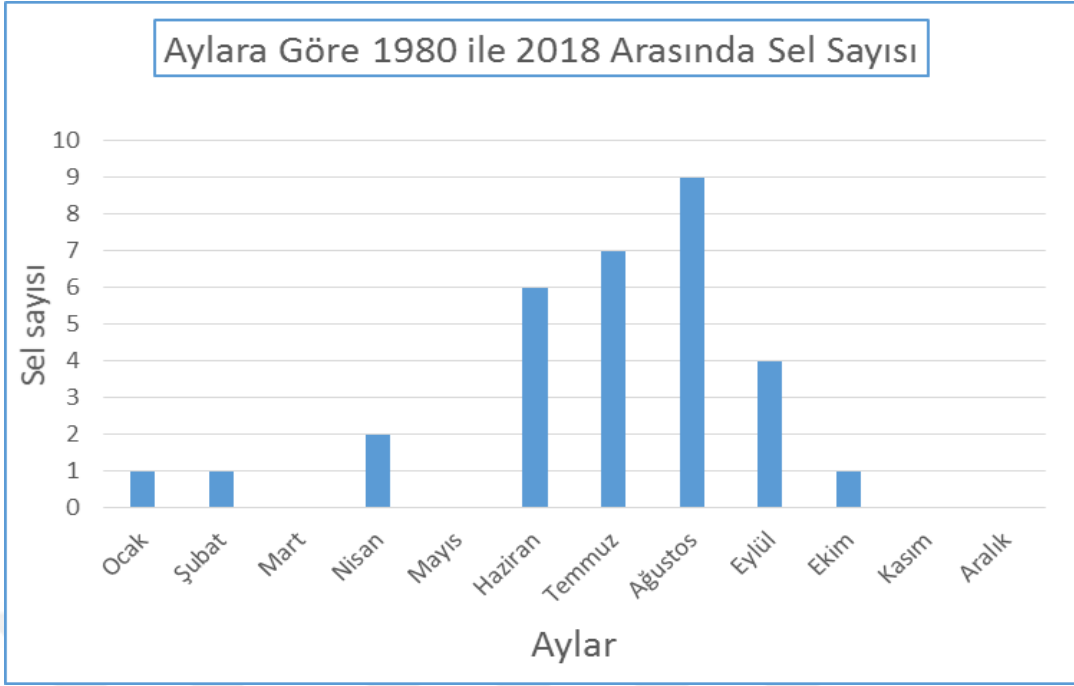
2.6 Douala Şehrinde Selin Zamansal ve Mekânsal Dağılımı

Douala şehrinde sel oluşumu uzun geçmişe dayanmakla birlikte son yıllarda olay sayısı arttığını görülmektedir. Daha önce yapılan çalışmalar için Kamerun gazetesinin haberlerinden elde edilen verilerle 1980 ile 2018 yıllar arasında meydana gelen sel sayısı ve ölüm sayısını ortaya çıkarılmıştır.

Douala şehrinin üzerinde yapılan bir çalışmada Kamerun gazetesinin haber bültenlerini incelenerek 1980-2018 döneminde farklı zaman ve yerlerde 31 sel olayının meydana geldiğini ortaya çıkarıldı (Laurent ve ark., 2019). Douala şehrinde ilk maddi zararlı sel olayı 1984 yılında kaydedilmiştir. Bu tarihten 2015 yılına kadar Kamerun gazetesi yılda bir sel olayı haberi yapmış, 2015'ten sonra sel olayı hız kazanarak yılda 4'e yükselmiştir. Bu 31 sel olayı 51 can kaybına yol açmıştır. 1980-1999 arası sadece 5 olay ve bir can kaybı sayılırken 2000-2018 arası 26 olayda 50 can kaybı yaşanmıştır (Laurent ve ark., 2019). 26 yılda ortalama olarak her yıl selden dolayı 2 kişi hayatını kaybettiğini göstermektedir. Bu olay artışı, nüfus artışı ve yerleşim yerlerinin genişlemesi ile paralellik göstermektedir.



Şekil 2.7: Douala Şehrinin sel sayısı ve can kayıpları



Şekil 2.8: 1980 ile 2018 yılları arasında aylara göre sel sayısı

Şekil 2.8 aylara göre selin meydana gelişini göstermektedir. Sel olayı yağışlı dönem olması nedeniyle en çok haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında gerçekleşmektedir. Douala şehrinin üzerine düşen yıllık toplam yağışın %80'i bu 4 ayda gerçekleşmektedir (Tsalefac ve ark., 2003).

Douala şehrine düşen yağmur, uzun süren şiddetli sağanak yağmur niteliğindedir. Örneğin 9 Ağustos 2010'dan itibaren bir hafta boyunca hemen hemen sürekli yağmur yağdı ve birkaç mahallede sele yol açtı, sonuç olarak 20 kişi ağır yaralandı, 2 kişi hayatını kaybetti. 34 yılda yani 1984'ten 2018'e kadar meydana gelen seller 51 can kaybına, 71 yaralıya ve 547 kişinin göç etmelerine neden oldu (Laurent ve ark., 2019).

Kamerun gazetesinin bültenlerinden 1984'ten 2018'e kadar Douala şehrinin 186 mahallelerinden 103 mahallesinde en az bir sel olayı yaşandığını belirtildi (Laurent ve ark., 2019). Bu mahallelerin çoğu Akwa, Makepe Missoké, Bonapriso ve Bonaberi gibi şehrin alçak yerlerinde (güneyinde) yer almaktadır (Zogning ve ark., 2010).

3 DOUALA ŞEHİRİ: ANALİZ VERİLERİ VE YÖNTEMLER

Bu çalışmanın başarısı için ihtiyaç duyulan SRTM SYM ve Landsat 8 verisi elde edilmiştir. Bu verilerinin özellikleri ve kaynaklarını sunulduktan sonra analizler için kullanılan coğrafi bilgi sistemi uygulamaları ele alınacaktır.

3.1 Sayısal Yükseklik Modeli (SYM): Veri Özellikleri

Sayısal Yükseklik Modelleri, uzaktan algılama yöntemleriyle veya eş yükseklik eğrili haritaları sayısallaştırılıp raster formatına dönüştürülerek toplanan yükseklik verileridir. Bu veriler jeomorfoloji, hidroloji, jeoloji ve diğer disiplinlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yükseklik verilerinin çözünürlüğü düşükten yüksek mekânsal çözünürlüklere kadar uzanmaktadır. Bu bölümde Gelişmiş Uzay Termal Yayılma ve Yansıma Radyometre (ASTER) ve Mekik Radar Topografyası Görevi (SRTM) hakkında bilgi verilecektir.

3.1.1 Global sayısal yükseklik modellerinin gelişimi

Bilim adamları küresel yükseklik verileri elde etme çabaları sonucunda 1986 yılında SPOT (Dünya Gözleme Sistemi) isimli ilk Dünya gözlem uydusu fırlatılmıştır. Bu uydudan elde edilen stereoskopik görüntüler kullanılarak yeryüzünün büyük kısmının sayısal yükseklik verileri elde edilmiştir (Nikolakopoulos ve ark., 2006). İlk Spot uydusu 1986 ile 2000 arasında fırlatıldı ve bu uydu ile veriler 14 günde, üç bant (B1: yeşil(0,50-0,59µm), B2: Kırmızı (0,61-0,68µm), B3: Yakın kızılötesi (0,78-0,89µm) ve bir hat boyunca yapılmaktaydı. SPOT uydusunun eksiklerini gidermek için 1999 yılında Terra uydusuna ASTER monte edilmiştir. ASTER 1999 yılından beri veri toplamaya devam etmektedir (JPL, 2012).

ASTER, NASA'nın Dünya Gözlem Sisteminin uydusu olan Terra uydusu üzerinde uçulan yüksek mekânsal çözünürlüklü bir spektrometredir. ASTER bantlara bağlı olarak 15 ile 90 m arasında çözünürlük ile 14 spektral bantlar sağlayabilmektedir (Prashant ve ark., 2016). Çizelge 3.1'de gösterildiği gibi ASTER'in sahip olduğu sensörler farklı çözünürlük sağlamaktadır: görünür ve yakın kızılötesi sensörler 15 m çözünürlükte üç bant, kısa dalga kızılötesi sensör 30 m çözünürlükte altı bant ve termal kızılötesi sensör 90 m çözünürlükte beş bant. Bu sensör algılama özellikleri ve sağladığı Global Sayısal Yükseklik Modelinin (GSYM) verileri, Arazi yüzeyi klimatolojisi, bitki örtüsü ve ekosistem, volkan izleme, hidroloji vb. gibi çok çeşitli araştırma faaliyetlerinde kullanılabilir (JPL, 2012).

Çizelge 3.1: ASTER sensörlerin spektral aralığı ve mekânsal çözünürlüğü (Abrams ve ark., 2001)

Sensörler	Bant numaraları	Spektral Aralık (μm)	Mekânsal çözünürlük (m)
Görünür ve yakın kızılötesi	1	0,52 – 0,60	15
	2	0,63-0,69	
	3	0,78-0,86	
Kısa dalga kızılötesi	4	1,60-1,70	30
	5	2,145-2,185	
	6	2,185-2,225	
	7	2,235-2,285	
	8	2,295-2,365	
	9	2,360-2,430	
Termal kızılötesi	10	8,125-8,475	90
	11	8,475-8,825	
	12	8,925-9,275	
	13	10,25-10,95	
	14	10,95-11,65	

29 Haziran 2009 tarihinde, NASA ve Japonya Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı dünya çapındaki kullanıcılara ücretsiz olarak bir global sayısal yükseklik modeli (GSYM) yayınladı. Bu 2009 yılındaki sayısal yükseklik modeli, NASA ve Japonya iş birliğinin ilk GSYM versiyonu idi ve bu ilk versiyon 83°K ve 83°G enlemleri arasındaki arazi yüzeylerini kaplayan 1,2 milyon görüntüden oluşmaktaydı (Tetsushi ve ark., 2011). ASTER GSYM doğrulama ekibi 2009 çalışmalarında GSYM 1 veya GSYM ilk versiyonu 120 metre mekânsal çözünürlüğüne sahip olduğunu ve GSYM üretiminde yüksek enlemlerde yetersiz stereo kapsama alanı, bulutla kaplı yerler, su maskeleyme, bindirme işlemleri gibi sorunlardan kaynaklanan veri kayıpları

(artifacts) olduğunu rapor etmiştir. Ağustos 2011’de NASA ve Japonya Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı ile GSYM 1’in yetersiz stereo kapsama alan, su maskeleme ve çözünürlük artırıldığı GSYM 2’yi ve 5 Ağustos 2019’da GSYM 3’ü ücretsiz olarak dünya çapındaki kullanıcılara sundu. GSYM versiyonları (1, 2 ,3) arasındaki farklılıklar USGS sitesinde (<https://lpdaac.usgs.gov/resources/faqs/#aster>) verilmektedir. 1,2 milyon görüntüden oluşturulan GSYM 1’den sonra GSYM 2 ve GSYM 3 versiyonları 260.000 ve 360.000 stereo görüntü eklenerek oluşturulmuştur.

ASTER SYM tüm kullanıcılara ve ücretsiz olarak 1° x 1° boyutlu bölgeyi içeren dosya ile Coğrafi Referanslı Etiketlenmiş Görüntü Dosyası olan Geotiff formatında 1 saniye çözünürlükte sunulmaktadır. Bu SYM düşey ve yatay datum sırasıyla EGM 96 ve WGS 84’tedir (Bildirici ve ark., 2017). ASTER aynı günde düşük radyometrik varyasyonlar (güneş aydınlatması, zamansal değişiklikler, vb.) ile görüntü elde etmektedir. ASTER görüntüleri 15m konumsal çözünürlüktedir. Görüntü kaplama alanı 30x30 km² olup 180x180 km² genişliğe kadar algılama yapılmaktadır.

GSYM kusursuz bir veri seti değildir. GSYM verileri en çok karşılanan soru bulutlardır. Bu bulutları kaldırmak için bulut gizleme ve maskeleme yöntemini kullanılmaktadır. Fakat bu yöntem bulutu tamamen kaldırmamaktadır. GSYM’in anomalileri düzeltmek için Kanada sayısal yükseklik veri seti, SRTM ve Alaska SYM gibi mevcut SYM verileri referans SYM veriler olarak kullanılmıştır.

SRTM (Mekik Radar Topografyası Görevi) ise NASA ve NIMA iş birliğinde Şubat 2000’de 233 km yükseklikte ve 57° eğimle fırlatılan mekik görevidir. SRTM ile Dünya kara parçalarının (60° Kuzey ve 56° Güney) %80’ninin verisi elde edilmiştir. SRTM, NASA; Ulusal Görüntü ve Haritalama Ajansı (NIMA); Alman Uzay Ajansı (DLR) ve İtalyan Uzay Ajansı (ASI) iş birliği ile gerçekleştirilen bir projedir (Bildirici ve ark., 2017). Bu görev için iki önemli algılayıcı kullanılmıştır: Biri Amerika’ya ait C-bantlı, Almanya ve İtalya’ya ait X-bantlı algılayıcıdır. 2004 yılında NASA’nın C-bantı ile oluşturduğu Amerika için 1 saniye ve diğer ülkeler için 3 saniye çözünürlükte olan SRTM SYM’i EarthExplorer sitesi üzerinde kullanıcılara ücretsiz olarak açılmıştır (Bildirici ve ark., 2020).

SRTM SYM verileri, SRTM SYM 1, SRTM SYM 3 ve vektör formatında su kütleleri verisi (SWBD: SRTM Water Body Data) gibi SRTM veri türleri bulunmaktadır. 1 ve 3 yay saniyedeki çözünürlük göstermektedir. SRTM SYM 1 ve 3 Boşluklu (void) ve boşlukları doldurulmuş (Non-void) veriler olarak yayınlanmıştır. Söz konusu olan boşluk, veri toplama yöntemine ilişkin meydana gelen veri

boşluklardır. Yüksekliğin belirlenemeyen bu durum -32768 tam sayı ile ifade edilmektedir. Bunlar void data olarak nitelendirilmektedir. SRTM SYM 1 boşluklu, SRTM SYM 3 ise boşluklu ve boşlukları doldurulmuş veri olarak iki versiyon halinde sunulmaktadır (Bildirici ve ark., 2020).

Tüm SRTM verileri 1° x 1° boyutlu bölgeyi içeren dosyalar halinde dağıtılmaktadır. ASTER gibi SRTM'in de farklı versiyonları vardır: İlk versiyon 2000 yılında NASA JPL tarafından radar verileri sayısal yükseklik verilerine dönüştürülmüş ilk veri setidir. İkinci versiyon, NGA tarafından ilk SRTM SYM üzerinde editleme, kesme ve çıkarma işlemleri yapılarak bazı hataların düzeltilmesi ile elde edilmiştir. NGA SRTM'deki boşlukları su kütlesi veri seti (SWBD) ve enterpolasyon yoluyla doldurduktan sonra kullanıcılara sunmak üzere verileri NASA'ya gönderdi. Üçüncü SRTM versiyonu ise NASA JPL tarafından boşluk doldurma işlemlerinin sonucunda elde edilmiş olup "SRTM plus" olarak adlandırılmıştır (USGS, 2015). ASTER SYM'e karşılık SRTM verileri, Geotiff formatı dışında DTED ve BIL formatlarda dağıtılmaktadır (Bildirici ve ark., 2017).

3.1.2 SYM verilerinin elde edilmesi

Sayısal yükseklik Modeli 1950'li yıllarda ortaya çıkmıştır. Başlangıçta veriler çoğunlukla yersel yöntemlerle ve fotogrametri yöntemleri ile elde edilmiştir. Günümüzde uydu görüntüleri, Radar ve Lidar teknolojileri ile SYM verilerini üretilmektedir (Yastıklı ve ark., 2011). SYM verileri, ücretsiz düşük çözünürlüklü (3 yay saniyelik çözünürlüklü küresel sayısal yükseklik modeli gibi), ücretli orta çözünürlüklü (Uydudan alınan veriler) ve yüksek çözünürlüklü (Lidar ve fotogrametri) veriler olmak üzere üçe ayrılmaktadır (El-Sheimy ve ark., 2005). Bu verilerinin seçimi çalışma alanının büyüklüğü ve proje maliyetine bağlıdır. Bu çalışmada ücretsiz SYM verileri kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu verilerin nasıl elde edildiğini ele alınmakta fayda var.

SRTM verileri USGS tarafından geliştirilen Earth Explorer (EE) sitesinden (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) ücretsiz olarak indirilebilir. Verileri indirebilmek için kayıtlı olmak şarttır. EE web sitesinden sadece SYM verileri değil, Landsat, Land-cover (Arazi kullanımı) vb. verileri de indirilebilmektedir. STRM verileri Digital Elevation sekmesinin altında bulunmaktadır.

ASTER verileri ise Earth Data NASA sitesinden (<https://earthdata.nasa.gov/>) indirilebilmektedir. Diğer kaynak ise Japan space system sitesinden de ASTER SYM verileri de indirilebilmektedir.

Japonya uzay çalışmaları kapsamında 2006 yılında Japonya Uzay Araştırma Ajansı tarafından Gelişmiş Kara Gözleme Uydusu (ALOS) fırlatıldı. Bu Uydusu 2006'ten 2011'e görev yaptı. ALOS'un ana amacı Kartografya, bölgesel gözlem, afet izleme ve kaynak araştırmasına katkıda bulunmaktır (ALOS, 2008). ALOS uydusu üç tane uzaktan algılayıcı cihazları ile donatılmıştır: ilk cihazı Stereo Haritalama Pankromatik Uzaktan Algılayıcı olarak kısıtlanmış PRISM'in görevi, Arazi yüksekliğini ölçmek, ikinci algılayıcı olan Gelişmiş Görünür ve Yakın Kızılötesi Radyometre tip 2 (AVNIR-2) görevi, arazi yüzeylerini neyin kapladığını gözlemlemek ve üçüncüsü olan Aşamalı Dizi tipi L-bantlı Sentetik Açıklıklı Radar'ın görevi ise gündüz-gece ve her türlü hava koşullarında arazi gözlemini mümkün kılmak idi (ALOS, 2008).

ALOS'un sensörlerinden biri olan PRISM 2006 ile 2011 zaman aralığında 3 milyon görüntü topladı. Bu görüntülerden ALOS Küresel Sayısal Yüzey Modeli 30m (AW3D30) oluşturulmuştur. AW3D30, 30 m (1 saniye) yatay çözünürlüklü bir sayısal yükseklik modeli olup $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ (boylam ve enlem) boyutlu dosya (pafta) ile dağıtılmaktadır. ALOS Küresel Yüzey Modeli'nin ilk versiyonu (yaklaşık 82 enlem içindeki bölge için) 2016'da sunulmuştur. Bu versiyondan önce 2015'de sadece Japonya ve Kıtanın parçasını kapsayan beta versiyonu sunulmuştu. Mart 2017'de 60° Kuzey ve Güney enlemleri kapsayan 1.1 versiyonu sunuldu. 2018'de 60° Kuzey ve Güney enlemleri ve Antarktika'nın bir parçasını kapsayan ikinci versiyonu ve 2020'de 60° Güney'den Kuzey bölgesini kapsayan 3.1 versiyon sunuldu. Bu veriler Japonya Havacılık ve Uzay Araştırma Ajansı veri portalı üzerinde indirilebilmektedir (ALOS, 2020).

Bir sonraki aşamalarda SYM verilerinin uygulama alanlarından biri olan hidrolojik analizler üzerinde durulacaktır.

3.2 Sayısal Yüksek Modeli ile Hidrolojik Analizler

Günümüzde sayısal yükseklik modeli, mühendislik çalışmaları, planlama vb. çalışmalar için olmazsa olmaz veriler haline geldi. Hidrolojik alanlarda SYM verileri havza oluşturulmasını, drenaj akış çıkarılmasını, havza su kapasitesi gibi çeşitli çalışmalar sağlamaktadır. Bu bölümde hidrolojik analizlerinde kullanılan coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) uygulamaları ve örnek çalışmalar üzerinde durulacaktır.

3.2.1 Hidrolojik analizlerde coğrafi bilgi sistemi kullanımı

Hidrolojik analizler için çeşitli uygulamaları kullanılmaktadır. CBS verilerin toplanması, saklanması, analiz edilmesi, kullanıcıya sunulması gibi işlevleri bütünleştiren bir bilgi sistemi olarak tanımlanmaktadır. CBS, mekânsal konumların

analizi ile birlikte bilgi katmanları düzenleyerek haritalarda ve 3 boyutlu görüntülerde görselleştirme yapılmasını sağlamaktadır. CBS ile yapılan bu çalışmanın temel amacı, kullanıcıların mekân ile ilgili uygun ve hızlı karar almalarını sağlamaktadır. Uygulamaları ticari ve açık kaynak olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Ticari CBS uygulamaları, ücret karşılığında alınan lisanslı yazılımlardır. Bunlar arasında MapInfo, NetCAD ve ArcGIS sayılabilir.

Ticari uygulamaların yanı sıra açık kaynak kodlu uygulamalar da mevcuttur. Bunlar herhangi ücret ödemedi indirip kullanılan CBS uygulamalarıdır. Bu tür yazılımlar yazılımcıların gönüllü katkıları ile geliştirilmektedir. Bu çalışmada kullanılan Quantum GIS (QGIS) ve SAGA GIS yaygın kullanılan açık kaynaklı CBS uygulamalarıdır.

3.2.2 SYM verilerinden drenaj ve su havzalarının oluşturulması

Çalışma alanının SYM verileri Earth Explorer'dan SRTM 3 saniyelik SYM olarak indirildi. Çalışma alanı 4 paftadan (tile) oluşmaktadır. Bu dört pafta QGIS uygulaması üzerinde ve birleştirme (merge) komutu ile tek bir dosya (katman) olarak birleştirildi. Bu bölümde SYM verilerinin projeksiyon değişikliği ve drenaj havzalarının oluşturma aşamaları sunulacaktır.

3.2.2.1 SYM verilerinin projeksiyon dönüşümü

USGS sitesi veya EarthExplorer'in sunduğu verilerin koordinat sistemi WGS84 elipsoidinde tanımlı coğrafi koordinat sistemidir. Yatay koordinatlar (enlem ve boylam) derece biriminde olduğundan bazı hesaplamalarda sorunlarla karşılaşılır. Yatay koordinatların uzunluk olduğu (metrik) bir projeksiyon kullanmak CBS analizlerinin yapılması açısından yararlıdır. Kimi zaman da zorunludur (Mike, 2013).

Çalışma alanı için indirilen SYM verileri QGIS uygulamasında birleştirildikten sonra aynı uygulamada WGS 84 datumunda UTM 32 kuzey dilimine dönüştürülerek hidrolojik analizlerine uygun hale getirilmiştir. Ardından bu veriler hidrolojik analizler bakımından güçlü araçlara sahip SAGA GIS uygulamasına aktarılmıştır. SAGA GIS ayrı olarak çalıştığı gibi SAGA GIS araçları QGIS ile bütünleşik olarak da çalışır. Ancak burada SAGA GIS uygulaması kendi başına kullanıldı.

3.2.2.2 SYM verisi ile otomatik havza ve drenaj sistemi oluşumu

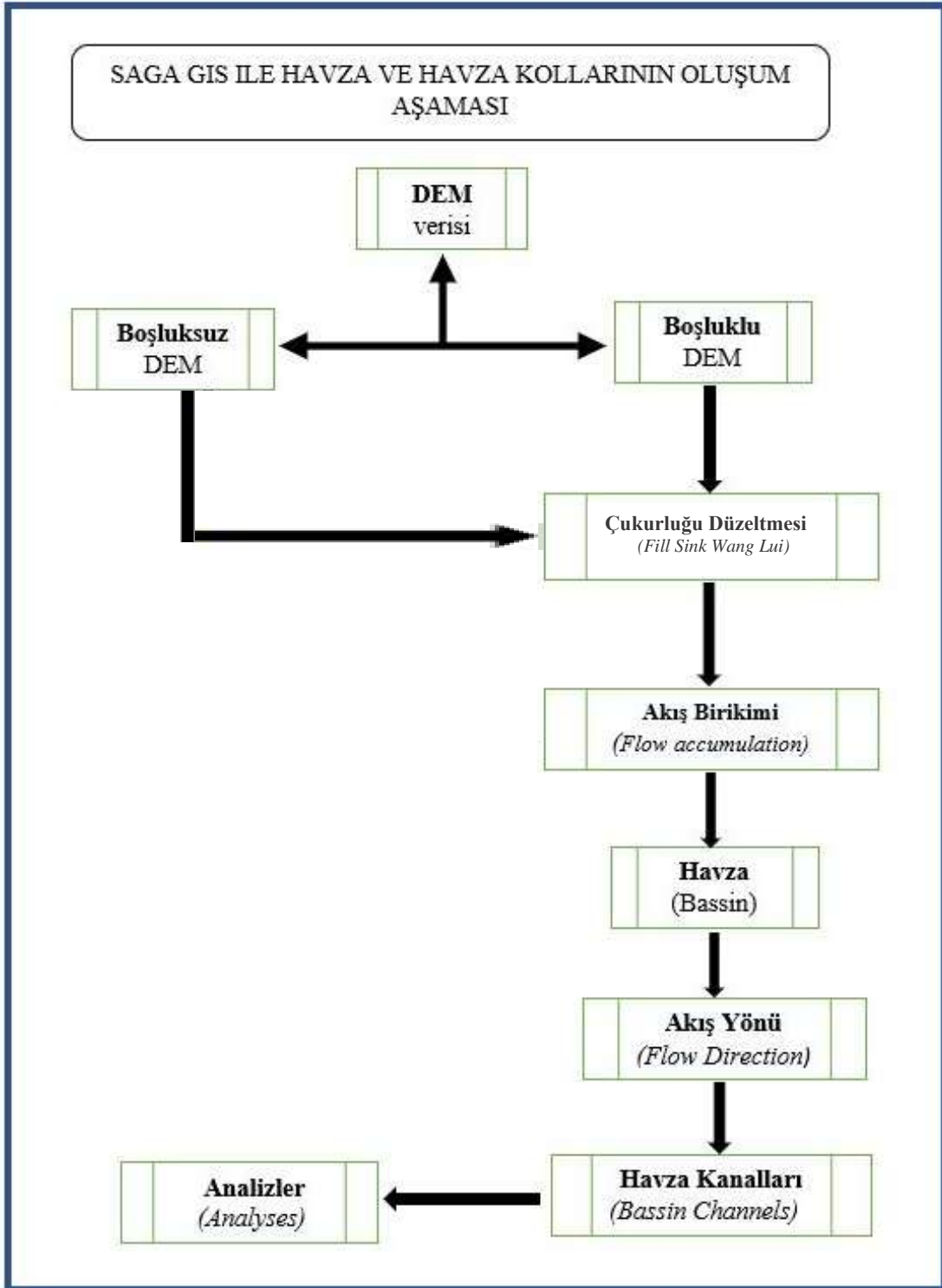
Bir akarsuyun kollarıyla birlikte sularını topladığı alana, o akarsuyun havzası denir. Açık ve kapalı olmak üzere iki havza tipi vardır: Sularını doğrudan denize ulaştırılan havzalara açık havza, sularını kendi içinde tutan havzalara ise kapalı havza denilmektedir. Bu bölümde SRTM SYM 3 veri üzerinden QGIS ve SAGA GIS

uygulamalarının yardımı ile Douala şehrinin havzaları ve hidrolik ağlarını oluşturulması ele alınacaktır.

Yukarıda SYM verileri boşluklu ve boşlukları doldurulmuş olarak dağıtıldığını belirtilmiştir. Söz konusu olan boşluklar, veri toplama yönteminden kaynaklanan veri boşluklardır (Bildirici ve ark., 2020). Bu çalışmada boşlukları doldurulmuş SYM verileri kullanılmıştır. Bu veriler boşlukları doldurulmuş olmasına rağmen çukurluklar (depression) içermektedir. Bu çukurluklar doğal (erozyon ve ani yükseklik değişimlerinden kaynaklanmaktadır) veya SYM üretiminden kaynaklanan kusurlardır. Çukurlukların, nehir ağı; havza ve su akışı gibi hidrolojik özelliklerin analizlerinde etkisi büyüktür (Prasad ve ark., 2013). Çukurluklar içeren SYM ile çalışma yapılırsa sonuçlar yanıltıcı olabilir veya algoritmalar düzgün çalışmayabilir. Çünkü tamamen bağlı bir drenaj ağı ve havza bölümü oluşturmak için SYM'nin her hücresindeki su çıkışının SYM'nin sınırındaki bir çıkışa yönlendirmesi gerekmektedir. Fakat SYM'nin üzerinde çukurluklarının bulunması simüle edilmiş su akışlarının çıkışlara boşalmasını önleyerek bağlantısız akış ve sahte iç alt havzaların oluşmalarına neden olmaktadır (Wang, 2015).

Bu çalışmada Earth Explorer veri portalından boşlukları doldurulmuş STRM SYM 3 (non-void) verileri indirilip SAGA GIS uygulamasında Wang Liu algoritması (Fill Sink Wang Liu) ile çukurluklar düzleştirildi. Wang Liu algoritması, SYM'in her bir grid hücresi için dökülme yükselme değeri aşamalı olarak belirleyerek yüzey çukurluklarını tanımlar ve çukurluklardaki iç hücreler için akış yönleri atamaktadır. Sonraki aşamada havza sınırlarını belirleyebilmektedir (Wang, 2015). Çukur doldurma işlemi yapıldıktan sonra akış birikimi oluşturulur. Akış birikimi, tek bir komutla akış yönü ve havzalar ile birlikte otomatik olarak oluşturulmaktadır. Ardından havzanın kollarını oluşturabilmektedir. Şekil 3.1, bu işlemlerin aşamalarını göstermektedir.

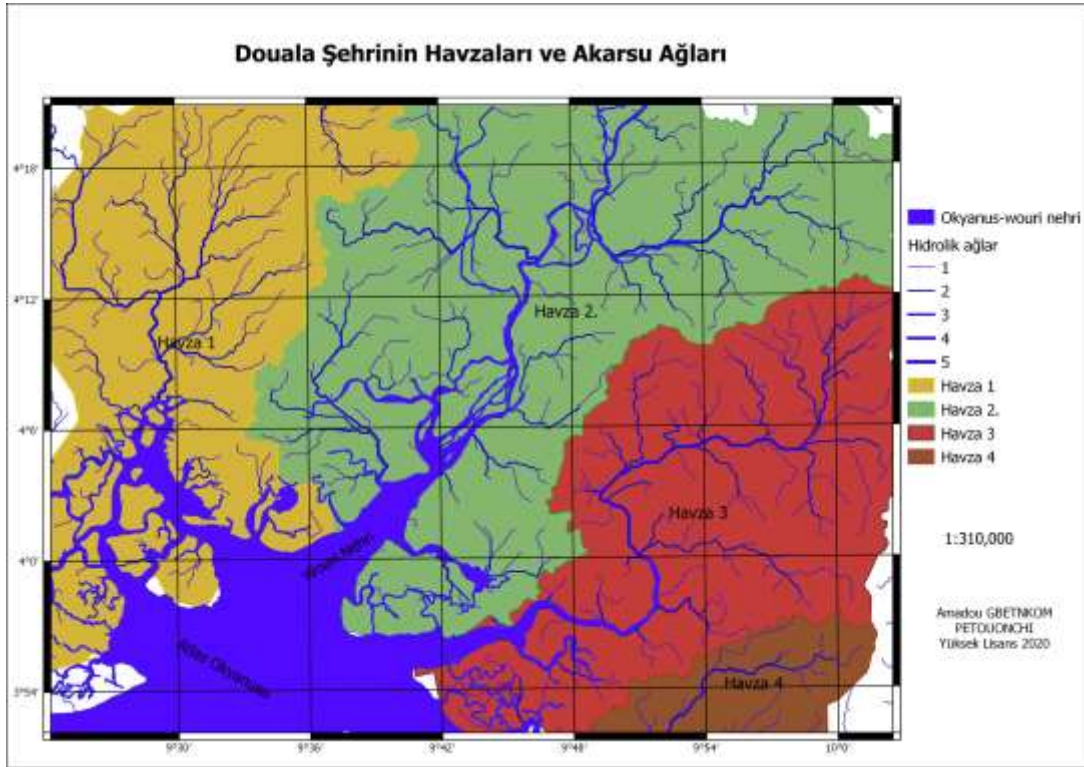
Havza ve kollarının oluşum sırasında SAGA GIS'in zayıf kaldığı bazı hususlar da gözlemlenmiştir. SAGA'nın algoritmaları karada iyi sonuç vermektedir. Fakat su üzerinde su akışı mümkün olmadığı için su üzerinde bu hidrolojik analizleri yapılmayacağından dolayı SYM içinde bulunan Atlas Okyanusu ve okyanusa akan Wouri nehrinin büyük bir kısmını analizlere dahil edilmemiştir. Yapılan çalışmaların sonucunda Douala şehrinin sınırları içerisinde 4 tane havza (Havza 1: 182.115 km², Havza 2: 236.710 km², Havza 3: 182.115 km², Havza 4: 71.705 km².) bulunduğu tespit edilmiştir. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi bu havzalar açık havzalar olup Wouri nehrine akmaktadırlar.



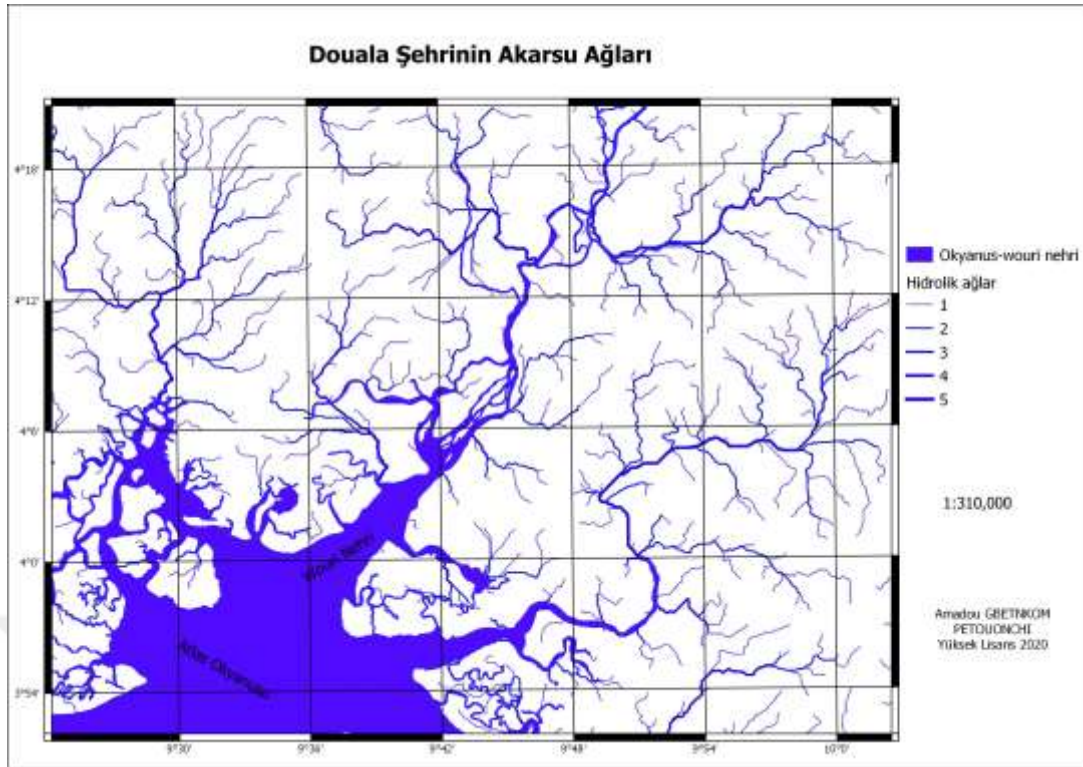
Şekil 3.1: SAGA GIS ile havza ve kollarının oluşturma aşamaları

Şekil 3.2, havzaları ve ilgili akarsu ağlarını göstermektedir. Bir havza nehir ve yan kollardan oluşur ve yan kolları yeryüzü şekillerini, yani eğimi takip ederek Atlas Okyanusu'na akmaktadır. SAGA GIS'in akarsu kollarının su birikimini piksellere göre hesaplanıp ve metre küp olarak vermektedir. Bu su kapasitesi Z boyutunda gösterilmektedir. Douala şehri, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi kuzeyden 80 metreden 0

metre deniz seviyesindeki güneye doğru alçalmaktadır. Havzalara bakıldığında 4 ana nehir ve çok sayıda akarsu yan kolları görülmektedir. Çok sayıda akarsu ağının olması, havzanın geçirimsiz bir zemine sahip olduğu ve eğiminin fazla olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.2: Douala şehrini havzaları ve akarsu ağları



Şekil 3.3: Douala şehrinin akarsu ağları

3.3 Sele Bakımından Riskli Bölgelerin Belirlenmesi

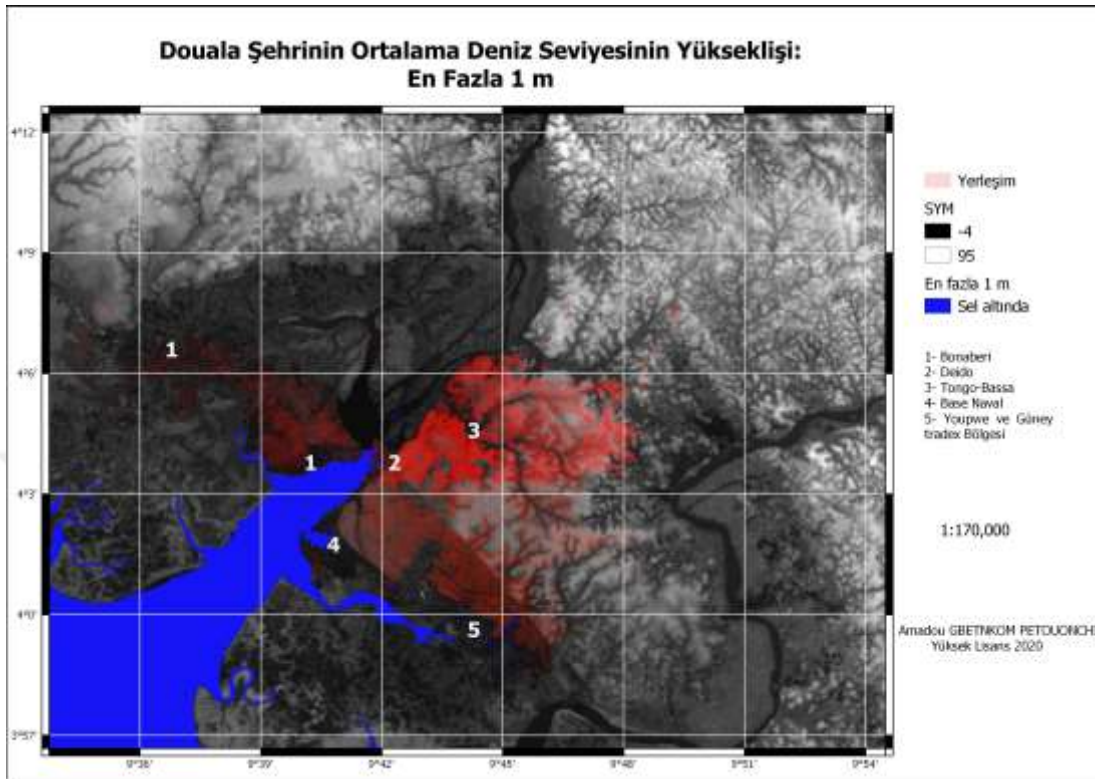
Douala şehrinin sel riskli bölgelerinin belirlenmesi, karar vericiler için son derece önemlidir. Bu bölümde deniz seviyesine ve yağışa bağlı sel riski olan bölgeleri belirlenecektir ve ardından bu iki hipotez kıyaslanacaktır.

3.3.1 Deniz seviyesine bağlı sel riski olan bölgeler

Yukarıda küresel ortalama deniz seviyesinin zamanla yükseldiği tartışıldı. Deniz seviyesinin yükselmesi, buzulların erimesi ile Grönland ve Antarktika'daki buzul kaybı gibi ana nedene bağlıdır. Bu buzul erimesi ile Douala şehrinde deniz seviyesi yükselerek Wouri nehrini beslemektedir. Yükselen nehir ise kollarını oluşturan dereleri beslemektedir. Küresel ısınmaya bağlı olarak kutuplardaki buz katmanları erimektedir ve bu erimenin sonucunda deniz seviyesinde değişiklik yaşanmaktadır. Kutuplarda olduğu gibi Grönland ve Antarktika'daki buzullar da erimektedir. Deniz seviyesi yükselişi Douala şehrinde ne kadar etkilidir? Şimdi bunu ele alalım.

21 yüzyılda küresel deniz seviyesinin 0-1m arasında olduğunu düşünülmektedir (Church ve ark., 2006). Bu yükseliş değerini kullanarak Douala şehrinde hangi bölgeler veya hangi yerleşim yerleri su altında kalabileceği analiz edilmiştir. Burada kullanılan kriter deniz seviyesinden 1m'ye kadar yükselme olarak belirlendi. Şekil 3.4 en çok 1m kriteri uygulanarak elde edilen sonucu göstermektedir. Mavi renkli alanlar 1 m'ye kadar

yükselmiş deniz seviyesini göstermektedir. Youpwe, Tongo Bassa gibi yerlerde yükselme 1 m'den büyük, 2 m'den küçük olduğu için en çok 2 m sel riski olan harita yapılmıştır (Şekil 3.5).

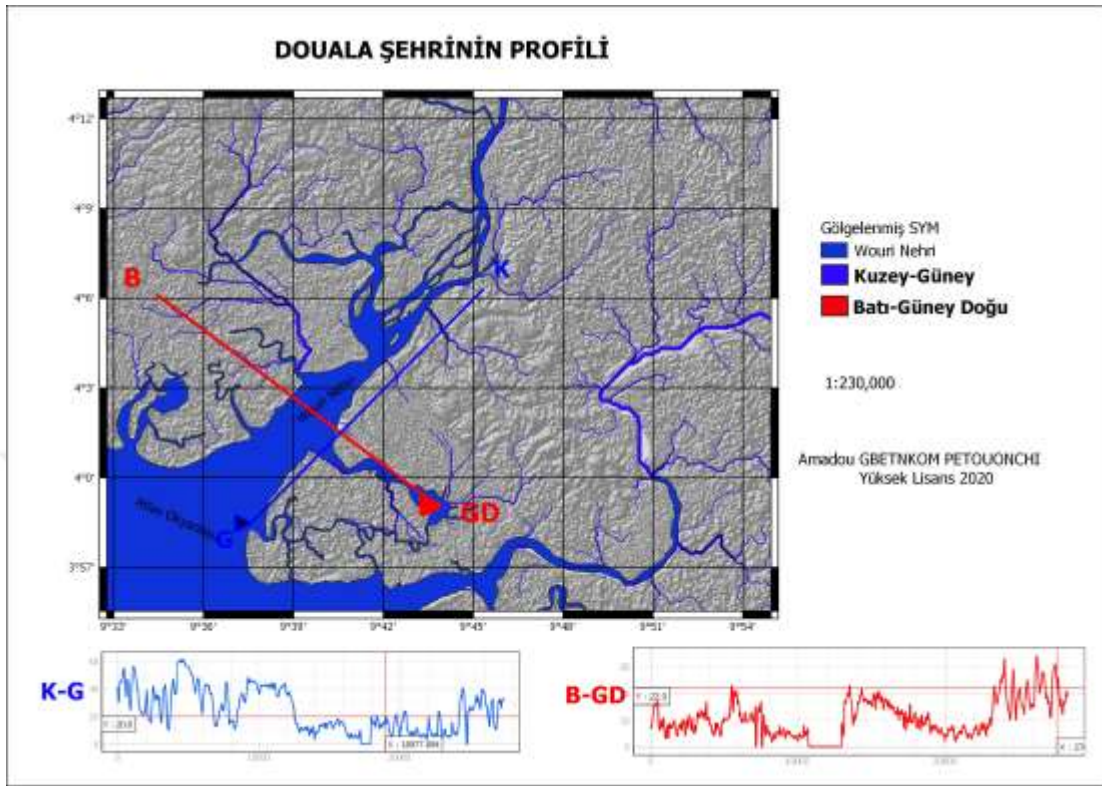


Şekil 3.4: Deniz seviyesinin yükselişine bağlı 1 m'den küçük sel riskli bölgeler.

Sonuç gösteriyor ki deniz seviyesi bir metreye kadar veya en çok 2 m yükselirse bazı yerleşim yerleri su altında kalacaktır. Yerleşim alanlarında su altında kalabilecek yerler rakamlarla (Şekil 3.4 ve Şekil 3.6) gösterilmektedir. Bu alanlar Bonaberi, Tongo Bassa, Daido, Youpwe, Güney Tradex mahalleleridir. En çok 2 m su yükselme haritası ve en çok 1 m su yükselme haritası aynı mahalleleri göstermektedir fakat suyun 2 m'ye kadar yükselmesi, selin etkileyebileceği alanlar daha büyüktür. Bu bölgelerin çoğu bataklıktır ya da bataklık iken doldurularak yükseltilmiş alanlardır. Deniz seviyesinin yükselişine bağlı olarak göreceli olarak az sayıda mahalle su riski altındadır. Ancak son yıllarda Douala şehrinin 186 mahallesinden 103'ünde sel olayı yaşanmıştır (Zogning ve ark, 2010). Bunun nedenini anlamak için bir sonraki bölümde yağışa bağlı sel analizlerini ele alınacaktır.

Yerleşim yerlerinde deniz seviyesinin yükselişine bağlı olarak sel riskli olan bölgeleri anlamak için Douala yerleşiminde batı-güney doğu ve kuzey-güney profili çıkarılmıştır. Şekil 3.5'da bu profil gösterilmektedir. Deniz seviyesinin en çok 1 m

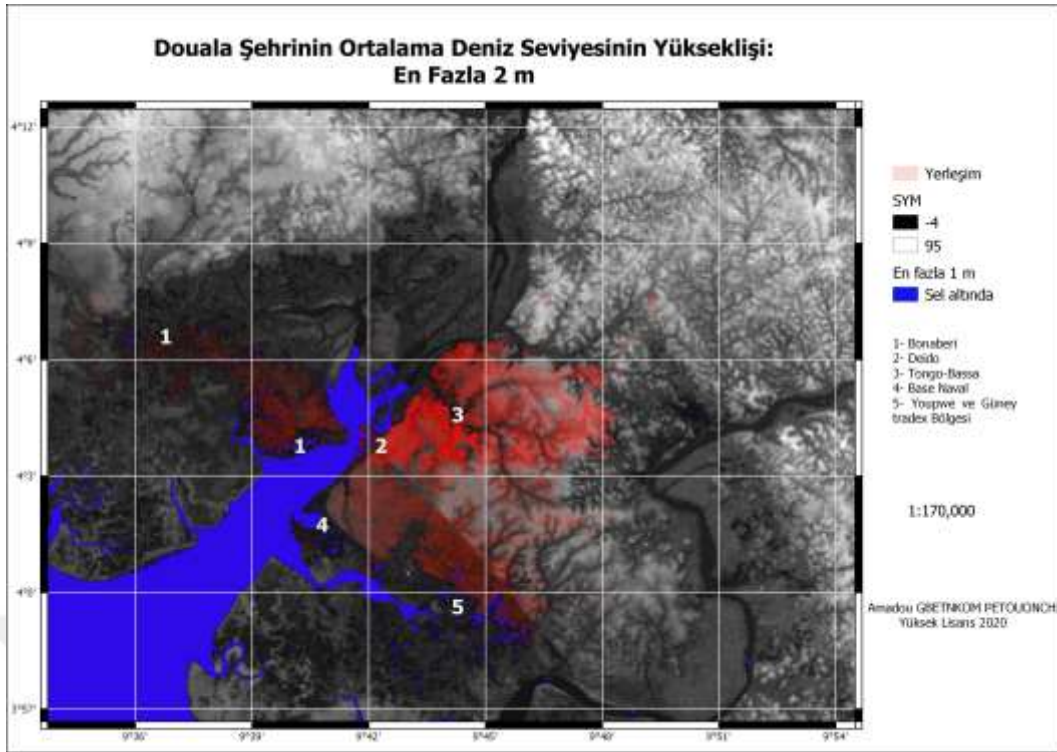
yükselmesi durumunda su altında kalacak mahallelerin alçak arazi veya çukurlu bölgelerde bulunduğu görülmektedir.



Şekil 3.5: Douala Şehrinin Batı-Güney Doğu ve Kuzey-Güney profili

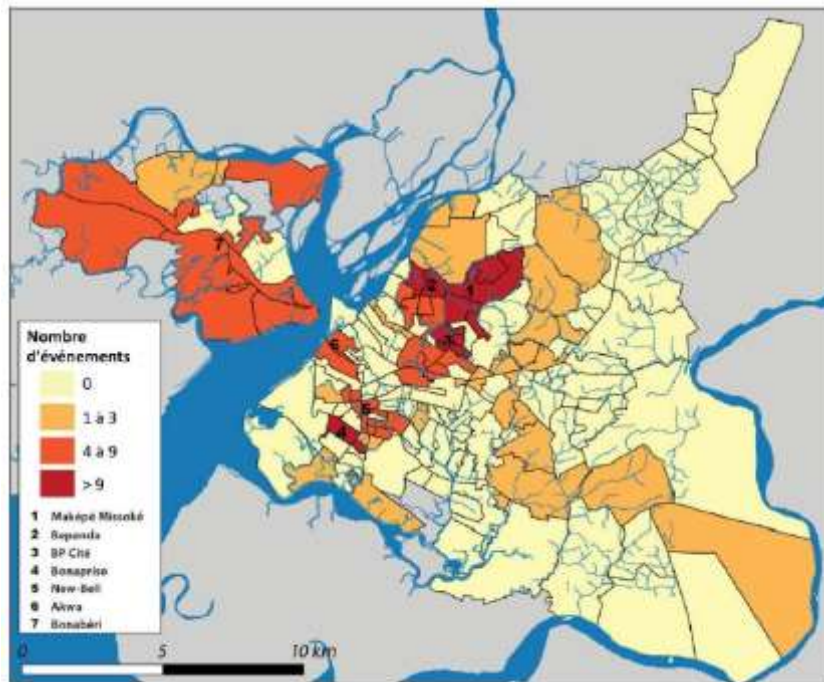
3.3.2 Yağışa bağlı sel riski altındaki bölgeler

Musonun Douala üzerinde büyük etki oluşturduğu yukarıda tartışılmıştı. Bu etki Musonun getirdiği sağanak yağmurdur. Bu sağanak yağmur özellikle haziran temmuz, ağustos ve eylül aylarında Douala'nın büyük kısmının su altında kalmasına neden olmaktadır. 1980'den beri meydana gelen selin %30'u ağustos ayında yaşanmıştır (Şekil 2.8). Ağustosta sel baskısının fazla olması, haziran ve temmuz aylarında meydana gelen yağıştan kaynaklanan toprak su doygunluğudur (Laurent ve ark., 2019). Toprak su doygunluğu ile birlikte, sağanak yağmur yüzeyde akışlara neden olmaktadır.



Şekil 3.6: Deniz seviyesinin yükselişine bağlı 2 m'den küçük sel riskli bölgeler.

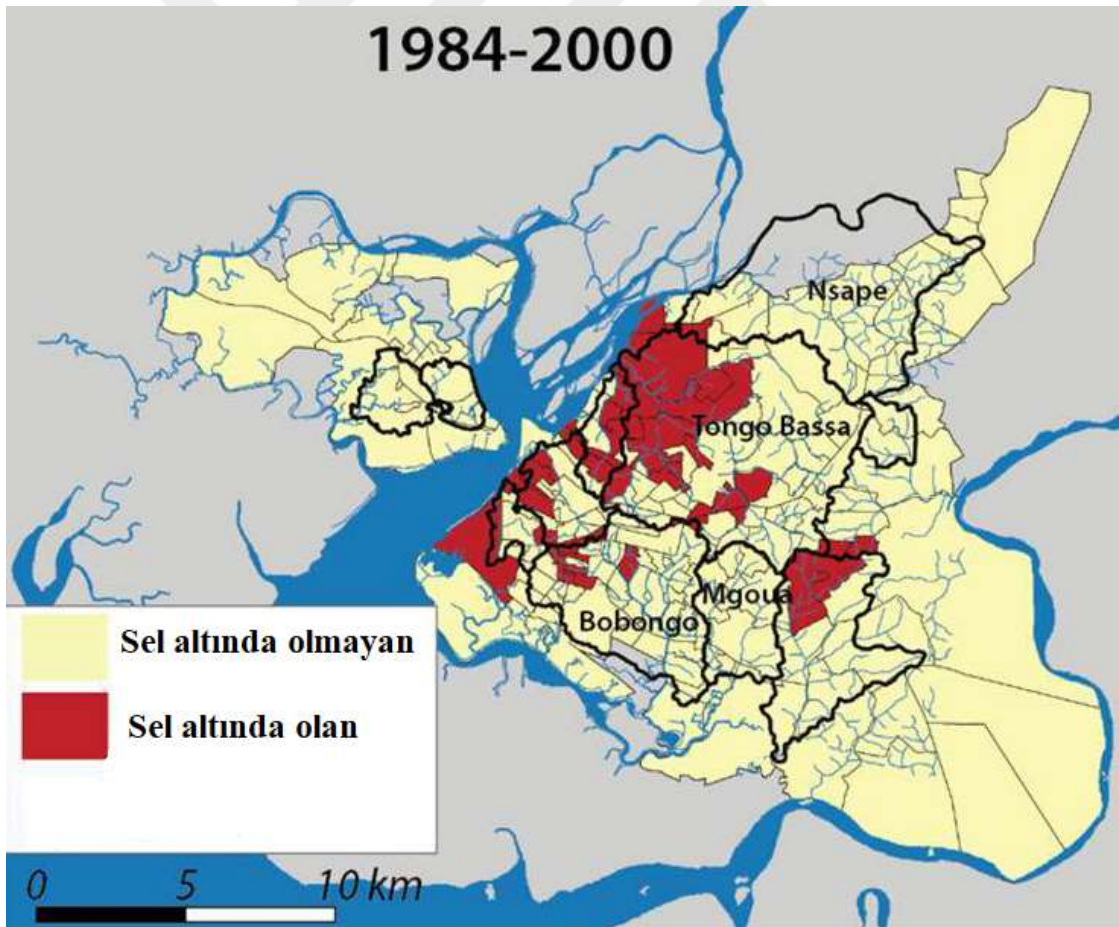
Nüfus yoğunluğu ve kontrolsüz yerleşimler nedeniyle akış yolu bulamayan yağmur suyu doğal olarak birikecektir. En ölümcül sel 2-3 Ağustos 2000'de yaşanan sağanak yağış idi. Bu sağanak yağıştan dolayı mahallelerdeki su seviyesi 2 m geçti, 8 can kaybı oldu ve 11 kişi ağır yaralandı. Douala şehrinin üzerinde yapılan çalışmaların sonucunda selin etkilediği mahalleler ortaya çıkarıldı (Laurent ve ark., 2019).

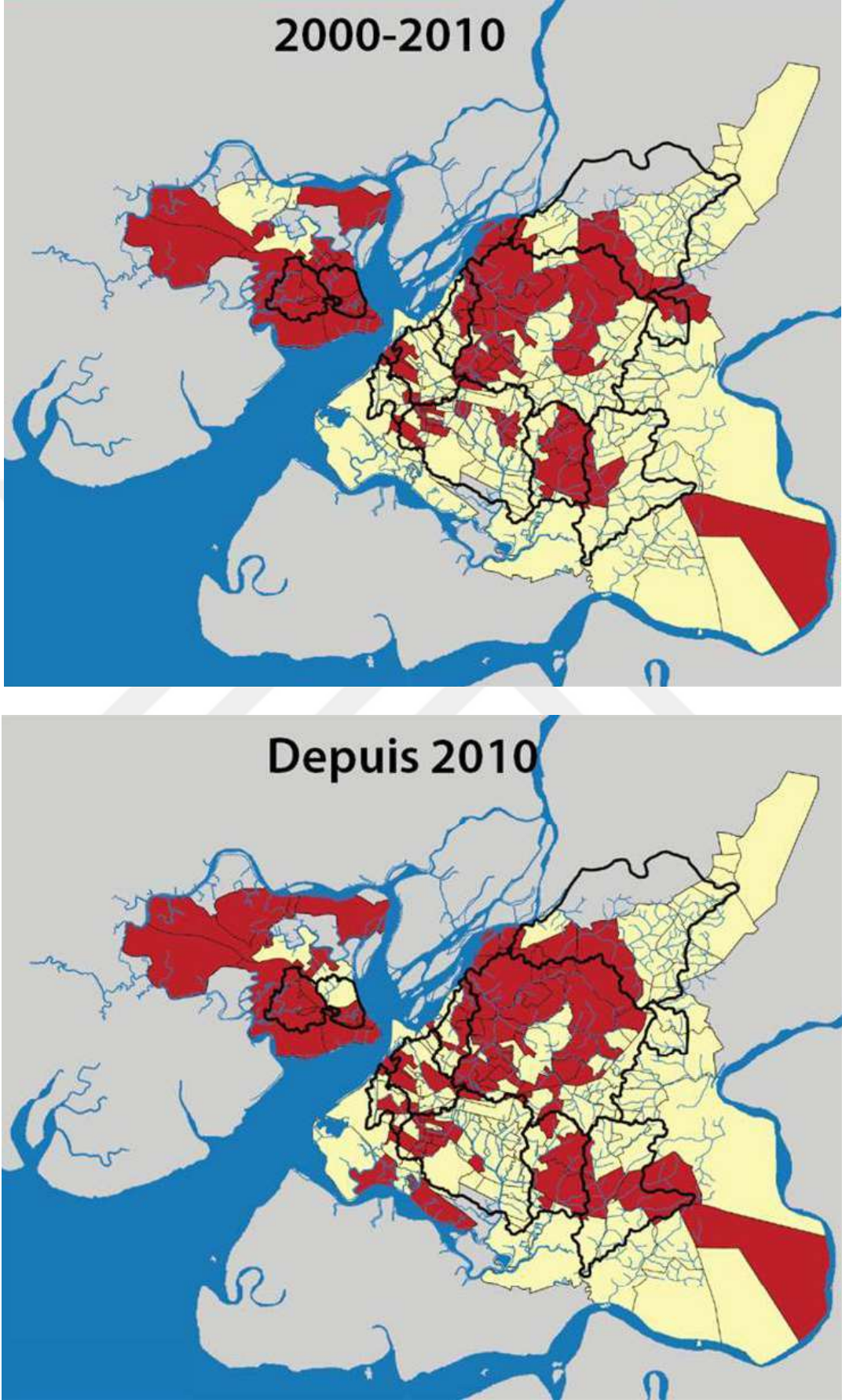


Şekil 3.7: Douala şehrinde mahallere göre olay sayısı (Laurent ve ark., 2019).

Şekil 3.7'e bakıldığında sel olayı en çok Maképé Missoké, Bepanda, Bp cité, Bonapriso, New-Bell, Akwa ve Bonaberi gibi yerlerde yaşanmaktadır. Bu yerler düzensiz konutlar ve nüfus yoğunluğu ile tanınmaktadır. Örneğin Maképé Missoké mahallesinde nüfus yoğunluğu 8342 kişi/km²'dir. Burada 1984'ten 2018'e kadar toplam 16 sel olayı yaşanmıştır.

Zamanla Douala nüfusu artmakta olup buna bağlı olarak sel olayları çoğalmaktadır. 1984'ten 2000'e kadar selin etkili olduğu yerler az iken (Şekil 3.8) 10 yıl sonra yani 2000 yılından 2010 yılına kadar sel riskli yerler iki kat artmıştır. 2010'da Douala nüfusu BUCREP tarafından 2,5 milyon olarak açıklanmıştır. Bu nüfus 2005 nüfus sayımından sonra 1.907.479 olarak açıklanmıştır. Nüfus arttıkça yerleşim yerleri için yeşil alanlar yok edilmektedir. Böylece çıplak toprak ortaya çıkmakta ve buna bağlı olarak su sızma oranı düşmektedir. 2010'dan sonra sel bölgesi olmayan bölgelerde sel yaşanmaya başlanmış ve bu eğilim önlem alınmaz ise devam edecektir.





Şekil 3.8: Douala şehrinde farklı dönemlere göre sele maruz kalan bölgeler (Laurent ve ark., 2019).

4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu bölümde Douala şehrindeki sel olaylarla ilgili yapılan analizlerin sonucu ile sel riskini ve zararlarını en aza indirmek için öneriler ele alınacaktır.

4.1 Sonuçlar

Bu çalışmanın amacı Douala şehrinin sel riskli bölgelerini ortaya çıkarmaktır. Yapılan çalışmaların sonucunda sel olaylarının sebepleri ortaya konmuştur.

Douala şehrinin coğrafi konumu ve topoğrafyası, sel olaylarını kolaylaştıran doğal unsurlardır. Douala şehri kuzeyden güneye doğru alçalan bir arazi profili sergilemektedir. Bu Kuzey-Güney profili arasında Youpwe ve Bonaberi, Mabanda, Foret Bar gibi deniz seviyesine kadar daha alçak yerler vardır. Bu yerler nehrin yükselişi ile su altında kalmaktadır. Su seviyesinin yükselişi çok az yeri tehdit etmekte olup, yalnızca bataklık üzerinde yerleşime açılan Bonaberi, Youpwe gibi yerler tehdit altındadır.

Topografik analizden Bonapriso, Ngangué, Akwa gibi mahalleler sel riskli olmayan bölge olsa da bu bölgelerde sağanak yağıştan dolayı sel altında kalmaktadır. Bu mahallelerdeki selin nedeni, Drenaj sistemlerinin (drenaj hendekleri ve boruları) bakımsız olmasından kaynaklanmaktadır.

Diğer sebep ise nüfus yoğunluğu ve kontrolsüz şehirleşme olgularıdır. Douala şehri, ülkenin ekonomik başkenti ve buna bağlı olarak iş ve kırsal alanlarda üniversite eğitimi gibi bulunmayan imkânlar nedeniyle göç almaktadır. Göç eden insanlara yerleşim yerleri gerekmektedir. Çoğu fakir insan yerleşime uygun yerlerde kira ödeyemedikleri için sel riskli bölgelerde ev yapmaktadırlar. Plansız olarak yapılan bu konutlar genelde yüzey akışlarını engelleyecek şekilde yapıldığından sel riski artmaktadır. Seli kolaylaştıran bir diğer sebep ise ev atıklarının derelere atılmasıdır. Sıcak mevsimde su gücü zayıflamış derelere atıklar birikmektedir ve böylece birkaç saatlik yağmur sele dönüşebilmektedir.

Douala şehrinde alçak yerlerde sel olayları görürken Maképé Missoké veya BP Cité gibi yüksek yerlerde de görülmektedir. Bu yüksek yerlerdeki seli kolaylaştıran yüzey su akışlarına engel olacak şekilde konutlar yapılması ve derelere atıkların atılması ve derelerin geniş tabanı olmamasıdır (Laurent ve ark., 2019).

Douala şehrindeki görülen sel olayları yağışa bağlı seldir ve bu seller genellikle Ağustos'ta daha fazla görülmektedir. Toprak geçirimsiz özelliği ve kötü şehirleşmeden dolayı 2010'dan sonra sel olayı artarak 186 mahalleden 103'ünde sel görülmüştür (Laurent ve ark., 2019).

4.2 Öneriler

Douala şehrinde sel olaylarının artışı nüfus artışı ile doğrudan ilişkilidir. Douala Kamerun'un ekonomik ve ikinci büyük şehir olmasından dolayı yüksek göç hareketliliğini yaşadığını belirtildi. Kamerun'un 10 bölgesinde imkânların eşit bir şekilde dağıtılmamasından dolayı daha iyi yaşam koşulları için insanlar Douala şehri gibi daha farklı imkânlara sahip olan bölgelere göç etmektedir. Bu insan hareketliliği durdurulmaz olsa da diğer bölgelerin gelişimini destekleyerek yavaşlatılabilir. Bu da Douala şehrinin göçten olumsuz etkilenmesini azaltacaktır.

Mevcut yerleşim yerlerine düzen getirilmesi gerekmektedir. Yüzey su akışlarının üzerindeki konutların kaldırılması, zor ve maliyetli olsa da yapılması gereken çalışmalardan biridir. Ağustos 2000'de sağanak yağıştan sonra meydana gelen sel ve verdiği can ve mal kayıpları, devletin harekete geçmesine neden olmuştur. Devlet 2000'de 10 yılda 10 yerde sel riskini azaltma ve iklim değişikliğiyle mücadeleye yönelik çok sektörlü bir planı hayata geçirdi (Laurent ve ark., 2019). Bu plan devletin sel riski konusundaki bilincini göstermektedir. Bunun gibi planların diğer bölgelere genişletilmesi, Douala halkına huzur getirecektir.

Sel riskli bölgelerdeki yasa dışı binalar yıkılmaktadır. Ancak inşaatların devam etmesine engel olunamamaktadır. Evlerin yıkılması, evleri yıkılan insanların başka yerlerde yerleşmelerine neden olmaktadır. Devletin bunun önüne geçmek için sadece evleri yıkmakla kalmayıp buralardaki nüfusun uygun yerleşim yerlerine geçmelerini sağlaması gerekmektedir.

Sel oluşumunu etkileyen drenaj sistemlerinin yağmur döneminde özellikle haziran, temmuz ve ağustos aylarının öncesinde bakımlarının yapılması gerekmektedir. Sel baskınının fazla zarar vermesi, pek çok konutta sele dayanıklı malzemelerin kullanılmamasından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden sele karşı dayanıklı binaların yapılması için gerekli yasal düzenleme ve denetlemelerin yapılması gereklidir.

Kamerun'da kat mülkiyet yasası (21 Aralık 2010 Tarihli No: 2010/022 Ortak mülkiyet yasası) vardır. Ancak bu yasa pek uygulanmamaktadır. Bu yasa uygulanır ise hızlı artan arazi kullanımı ve yüzey suyu akışının önündeki engeller azalacaktır.

KAYNAKLAR

- Abrams, M. and Hook, S., 2001, ASTER users handbook version 2 [online], Jet Propulsion Laboratory, USA, https://asterweb.jpl.nasa.gov/content/03_data/04_Documents/aster_user_guide_v2.pdf [Ziyaret tarihi: 27.07.2020].
- Abrams, M. and Crippen, R., 2019, ASTER DEM V3 [online], California Institute of Technology https://lpdaac.usgs.gov/documents/434/ASTGTM_User_Guide_V3.pdf [Ziyaret tarihi: 30.07.2020].
- Afet ve Acil durum yönetimi Başkanlığı, 2020, Doğal afetler [online], <https://www.afad.gov.tr/afadem/dogal-afetler> [Ziyaret tarihi: 25.03.2020].
- ALOS, 2008, ALOS data users handbook revision C. [online], Earth Observation Research and Application Center, Japan https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/doc/fdata/ALOS_HB_RevC_EN.pdf , [Ziyaret tarihi: 29.07.2020].
- Başar, S. Erbaş, A. ve Durur, N. 2020. Artvin’de sel felaketi [online]. <https://www.hurriyet.com.tr/gundem/artvinde-sel-felaketi-41564063> [Ziyaret Tarihi: 24.07.2020].
- Bildirici, İ., Abbak, R., 2017, 1 Saniye Çözünürlüklü ASTER ve SRTM Sayısal Yükseklik Modellerinin Türkiye’de Karşılaştırması, Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5 (1), 16-25.
- Bildirici, İ., Abbak, R., 2020, Türkiye ve çevresinde SRTM Sayısal Yükseklik Modelinin Yerel Verilere Göre Doğruluğu, Geomatik Dergisi. 5(1); 1–11.
- Church, J., A., Hunter, J. R., McInnes, K. L. And White. N. J., 2006, Sea level rise around the Australian coastline and the changing frequency of extreme sea-level events [online]. *Australia Meteorology Magazine* 55: 253-260. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.222.8515&rep=rep1&type=pdf> [Ziyaret tarihi 27.07.2018]
- Climate central 2020, Land Projected to be Below Tideline in 2050 [online] https://coastal.climatecentral.org/map/13/9.7101/4.0167/?theme=sea_level_rise&map_type=coastal_dem_comparison&contiguous=true&elevation_model=coastal_dem&forecast_year=2050&pathway=rcp45&percentile=p50&return_level=return_level_0&slr_model=kopp_2014 . [Ziyaret tarihi: 24.07.2020].
- CLUVA, 2012, Changements climatiques et vulnérabilité des villes africaines: Douala-Cameroun, 2p. <http://www.cluva.eu>
- Dartmouth Flood Observatory, 1985-2010, Global Active Archive of Large Flood Events [online] <https://floodobservatory.colorado.edu/Archives/index.html> . [Ziyaret tarihi: 19.03.2020].

- Dasgupta, S., Laplante, B., Meisner, C., Wheeler, D. and Jianping, Y., 2007, The impacts of sea level rise on developing countries: a comparative analysis. *World Bank Policy Research Working Paper* 4136: 51 pp.
- Diongue, M., 2014, Périphérie urbaine et risques d'inondation à Dakar (Sénégal): le cas de Yeumbeul Nord, ESO Travaux et Documents, vol. 37, p. 4554.
- El-Sheimy, N. Valeo, V., and Habib, A. 2005, Digital Terrain Modeling: Acquisition, Manipulation, And Applications. *Artech House Publishers*. 270 pages.
- Freeman, G.T., 1991, Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid, *Computers and Geosciences*, 17:413-22.
- Hürriyet, 25 Şubat 2020, İran'da sel felaketi can aldı. Hürriyet[online] <https://www.hurriyet.com.tr/dunya/iranda-sel-felaketi-can-aldi-41455399> [Ziyaret Tarihi: 4.03.2020].
- Hyomin, K., Dong-Kun, L. and Sunyong, S. 2016, Effect of urban green spaces and flooded area type on flooding probability. *MDPI*, South korea.
- Jet Propulsion Laboratory, 2012, ASTER [online]. <https://asterweb.jpl.nasa.gov/index.asp> . [Ziyaret Tarihi: 28.07.2020].
- Kaytmaz, C. Y., 2018, Sadece Türkiye de değil...Dünyayı korkutan fırtına ve sel felaketleri. *Sözcü* sitesinden: <https://www.sozcu.com.tr/2018/dunya/sadece-turkiye-de-degil-dunyayi-korkutan-firtina-ve-sel-felaketleri-2440688/> [Ziyaret Tarihi: 4.03.2020].
- Kirsch T. D., Wadhvani, C., Sauer, L., Doocy S. And Catlett, C., 2012, Impact of the 2010 Pakistan Floods on Rural and Urban Populations at Six Months[online]. *PLoS Curr.* <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3441151/> . [Ziyaret Tarihi: 16.07.2020]
- Laurent, B. Amelie, A. Maurice, O.Z. Pierre, O. 2019, Analyse Géohistorique de l'évolution Spatio-Temporelle du risque d'inondation et de sa gestion dans la zone urbaine de Douala (Cameroun). *Physio-Géo- Géographie Physique et Environnement*, volume XIII.
- Lumbe Lumbe, O., Bitom, D., Mamdem, L., Tiki, D., et Acholle I., 2015, Cartographie des zones à risques d'inondation en zone soudano-sahélienne: cas de Maga et ses environs dans la région de l'extrême-nord Cameroun. *Afrique Science*. 11(3) 45-61.
- Mike P. 2013, Properly reprojecting elevations raster. Esri Tutorial [online] <https://www.esri.com/about/newsroom/arcuser/looking-good/> [Ziyaret Tarihi: 2.05.2020].
- Ming-Hsi, H., Shiuan-Hung, C., and Tsang-Jung, C. 2000, Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system, *Journal of Hydrology*. 234(1-2), 21-

- 37 [online] <https://ore.exeter.ac.uk/repository/handle/10871/13786> [Ziyaret Tarihi: 18.04.2020]
- Meva'a Abomo, D., Fouda, M., Bonglam Chofor, Z. et Kamwo, M. 2010, Analyse spatiale du risque d'inondation dans le bassin versant du Mbanya à Douala, capitale économique du Cameroun. *NOVATECH*, 1–10.
- Meva'a Abomo D., Fouda M., Nguehan B.S., Ebana A.A. and Pola G.M. 2015, Vulnérabilité de l'agriculture urbaine aux inondations dans le bassin versant du Mbanya à Douala (Cameroun). *Les Annales de la Recherche Urbaine*, vol. 110, n° 1, p. 164173.
- Metz M, Mitsova H. and Harmon RS, 2011, Efficient extraction of drainage networks from massive, radar-based elevation models with least cost path search. *Hydrology and Earth System Science*, 15: 667-678.
- Mark, D.M. and O'Callaghan, J.F. 1984, The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 28:323-344.
- Nsegbe, A.D.P., Tchiadeu, G M., Mbaha, J.P., Ngangue, C.D. et Olinga Olinga, J.M. 2014, Douala: une ville d' occupation et d' immigration, 21–39.
- Özcan E., 2006, Sel olayı ve Türkiye GÜ, *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*. 35-50.[online]. <http://www.gefad.gazi.edu.tr/tr/download/article-file/77226> [Ziyaret tarihi:19.04.2020].
- Prasad, B.G. Sreenivas, B. Farhat, R. And Edida, R. 2013, Importance of breaching and filling for river network extraction using High Resolution DTM[online]. Spatial Modeling Group, RMSI Pvt. Ltd. India. http://earth.esa.int/hydrospace07/participants/09_08/09_08_PrasadBabu.pdf [Ziyaret Tarihi: 30.07.2020].
- Sevinç, H., 2019, Türkiye'de 39 yılda bin 242 kişi sele kurban gitti[online], <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/turkiyede-39-yilda-bin-242-kisi-sele-kurban-gitti/1561215> . [Ziyaret tarihi: 24.07.2020].
- Srivastava, P. K., Petroulos P. G. And Kerr Y. H., 2016, Satellite Soil Moisture Retrieval: Techniques and Applications. *Elsevier*. 98-99.
- Tachikawa, T., Manabu, K., Iwasaki, A., Gesh, D., Oimoen, M., Zheng, Z, ..., 2011, ASTER Global Digital Elevation Model Version 2 – Summary of Validation Results.[online].https://ssl.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/ver2Validation/Summary_GDEM2_validation_report_final.pdf. [Ziyaret Tarihi: 28.07.2020].
- Tarboton, D.G. 1997, A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research*, Vol.33, No.2, p.309-319.

- USGS, 2015, The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Collection User Guide[online].https://lpdaac.usgs.gov/documents/179/SRTM_User_Guide_V3.pdf [Ziyaret Tarihi: 29.07.2020].
- WMO, 2014, WMO statement on the status of the global climate in 2013. *Chair, Publications Board* Geneva 2, Switzerland. 2014.
- Wang, L. and Lui, H., 2015, An efficient method for identifying and filling surface depressions indigital elevation models for hydrologic analysis and modelling [online].https://www.researchgate.net/publication/220649976_An_efficient_method_for_identifying_and_filling_surface_depressions_in_digital_elevation_models_for_hydrologic_analysis_and_modelling [Ziyaret Tarihi: 31.07.2020].
- Yastıklı, N. ve Esirtgen, F. 2011, Sayısal Yükseklik Modellerinde kalite değerlendirme ve doğruluk analizi. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*. Ankara.
- Zogning, M.O., Tonye, E., Ambara, G. And Tsalefack, M., 2010, Cartography of Flood Prone Areas and Assessment of Flooding Housing in Douala (Cameroon), <https://www.researchgate.net/publication/273321869>, 15 p. [Ziyaret Tarihi: 02.04.2020].

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Amadou GBETNKOM PETOUONHI
Uyruğu : KAMERUN
Doğum Yeri ve Tarihi : FOUMBAN 20/05/1993
Telefon : +90 553 773 14 47
Faks :
E-Posta : petouonchiamadou@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Koupa-Matapit lisesi	Koupa	Foumban	2011
Üniversite	: Ankara Üniversitesi	Çankaya	Ankara	2017
Yüksek Lisans 1:	Eskişehir Teknik Ün.		Eskişehir	2019
Yüksek Lisans 2:				
Doktora	:			

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
-----	-------	--------

UZMANLIK ALANI: Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Kartografya

YABANCI DİLLER: Fransızca, İngilizce, Türkçe