

TARIMSAL HAVZA SULAK ALANLARINDA

KARBON VE NÜTRİENT BİRİKİMİ

Zehra YİĞİT AVDAN

Doktora Tezi

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2015

**Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Komisyonu Başkanlığı tarafından desteklenmiştir. Proje No: 1305F105**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Zehra Yiğit Avdan'ın “**Tarımsal Havza Sulak Alanlarında Karbon Ve Nütrient Birikimi**” başlıklı Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'ndaki, *Doktora Tezi* 19 Haziran 2015 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Prof. Dr. Erdem Ahmet ALBEK	
Üye	: Prof. Dr. Orhan YENİGÜN	
Üye	: Prof. Dr. Feza KARAER	
Üye	: Doç. Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN	
Üye	: Doç. Dr. Serdar GÖNCÜ	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

TARIMSAL HAVZA SULAK ALANLARINDA KARBON VE NÜTRİYENT BİRİKİMİ

Zehra YİĞİT AVDAN

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Erdem Ahmet ALBEK

2. Danışman: Doç. Dr. Hatice İNAN

2015, 132 sayfa

Bu tez çalışmasında; tarımsal havzada bulunan, nehir kıyısı, devamlı ve geçici sulak alan sediment korlarında, tarımsal akıştan kaynaklanarak biriken sediment, karbon, azot ve fosfor miktarlarının zamana bağlı değişimlerinin hesaplanması ve birbirleri arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Korlardaki organik madde ve karbon birikimi yüzey zonunda yüksek olup, derinliğe bağlı azalmaktadır. Bununla beraber doğal sulak alan olan nehir kıyısı alanında derinliğe bağlı organik madde ve karbon birikimi diğer alanlara göre daha yüksektir. Karbon birikimi açısından doğal sulak alanlarda anaerobik süreçlerin, restore edilen sulak alanlarda giren karbon miktarının önemli olduğu bilinmektedir. Korlardaki azot birikimi organik madde ve karbona benzer bir eğilim göstermektedir. Fosfor birikimi önceki dönemlerde otlak olarak kullanılan ve sonra restore edilen geçici sulak alanda yüksek bulunmuştur.

Sediment korlarında ^{210}Pb ile CRS (Constant Rate Supply) modeli kullanılarak hesaplanan sedimantasyon hızlarının, ilk 15 cm’de en yüksek değerde olduğu görülmüştür. Nehir kıyısı devamlı sulak alanındaki sedimantasyon hızı diğer alanlara göre daha yüksektir, bu alandaki sedimantasyon hızına bağlı olarak, alanın yaklaşık 25 yılda dolması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: ^{210}Pb , Azot ve Fosfor Birikimi, CRS, Karbon Birikimi, Sedimantasyon Hızı, Sulak Alanlar.

ABSTRACT

Ph.D Dissertation

RETENTION OF CARBON AND NUTRIENTS IN WETLANDS RECEIVING AGRICULTURAL RUNOFF

Zehra YIGIT AVDAN

Anadolu University

Graduate School of Sciences

Environmental Engineering Program

Supervisor: Prof. Dr. Erdem Ahmet ALBEK

Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hatice INAN

2015, 132 pages

In this study, it is aimed to examine time-dependent changes in sediment, carbon, nitrogen and phosphorus accumulation in sediment cores and to determine of relationships among each other in riparian, permanently and seasonally flooded wetlands in agricultural watersheds.

The organic matter and carbon accumulation was found to be high in the surface zone and to decrease with depth. However, depending on depth, the organic matter and carbon accumulation were higher compared with other areas in the riparian zone which is a natural wetland. It is known that, in terms of carbon accumulation, anaerobic processes in natural wetlands and carbon input amount in restored wetlands is important. Nitrogen accumulation in cores shows a similar trend like organic matter and carbon accumulation. The accumulation of phosphorus was found to be higher in the seasonally flooded wetland which was used previously pasture.

Sedimentation rates were calculated using the CRS (Constant Rate Supply) model and ^{210}Pb was found to have the highest value in the first 15 cm in the sediment cores. Sedimentation rate was higher in the riparian permanently flooded wetland than in other areas and depending on the sedimentation rate this area is expected to fill up in the next 25 years.

Key Words: ^{210}Pb , Carbon Accumulation, CRS, Nitrogen and Phosphorus Accumulation, Sedimentation Rate, Wetlands.

TEŞEKKÜRLER

Lisans eğitimimin ilk yıllarından itibaren bilgi birikimine hayran kaldığım, sonrasında doktora öğrencisi olmaktan gurur duyduğum, tez sürecimde cesaretlendiren, hayata bakış açısıyla akademik anlamda sonuna kadar destekleyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Erdem Ahmet Albek'e,

Tez çalışmalarım sırasında hoşgörü ile destekleyen, özellikle Amerika sürecinde yanımda olan Sayın Doç. Dr. Hatice İnan'a,

Amerika'da gerçekleştirdiğim çalışmalar için ekibine dahil eden, bilimsel anlamda kendisinden çok şey öğrendiğim Sayın Prof. Dr. William Stringfellow'a,

Tez çalışmam sırasında özellikle sediment korlarının alınmasında yardımlarını esirgemeyen ve güler yüzüyle her zaman her sorumu cevaplayan Jeremy Hanlon'a,

Amerika'da gerek güler yüzü, gerek sabrıyla her konuda yardımına koşan, laboratuvarları sorunsuzca kullanmama yardımcı olan sevgili arkadaşım Chelsea Spier'e,

Amerika'da ki ilk günlerimden itibaren desteklerini benden esirgemeyen ve yalnızlığımı unutturan arkadaşlarım Jeremy Domen, Sneha Parmar, Jeffrey Rubino, Ashley Stubblefield, Jason Jung, Michael Jue, Matthew Ebia, Ernest Garcia, Annelea Vuontela, Priyanka Chitranshi ve Ashish Sawhney'ye ve izotop analizleri sırasında yardımları için Markus Bill'e,

Sedimentlerin fiziksel analizleri sırasında Hidrolik laboratuvarını kullanmama izin veren Sayın Doç. Dr. Scott Merry'e

Kurşun izotop ölçümleri için Ankara Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitü'sine, özellikle Sayın Prof. Dr. Haluk Yücel'e ve Araş. Gör. Esra Uyar'a,

Bu tez çalışması sırasında hoşgörülerini ile hep yanımda olan hocalarım Sayın Doç. Dr. Serdar Göncü ve Sayın Doç. Dr. Aynur Şensoy Şorman'a,

Bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesi için öncelikle Amerika'ya gitmemi ve ardından 1305F105 no'lu Bilimsel Araştırma Projesini destekleyen ayrıca çalışanı olmaktan gurur duyduğum Anadolu Üniversitesi'ne,

Tez aşamasında tanıdığım, sonrasında bana ikinci bir kız kardeşi olan Sevgili Eda Tuna Öztürk'e,

Tezimi bitirmemi sabırla bekleyen, sürekli desteğini hissettiğim, biricik kız kardeşim sevgili Müleyke Ebrar Yiğit'e,

Bitmek bilmeyen sabrı ve hoşgörüsü için sevgili eşim Yard. Doç. Dr. Uğur Avdan'a,

Hayatımın her aşamasında olduğu gibi bu tez sürecinde de benden desteklerini ve sevgilerini esirgemeyen, bugünlere gelmem için çok uğraşan anneme ve babama,

Tez çalışmalarımı sabırla destekleyen, yaptığım işe saygılarını her zaman gösteren Şayeste anneme ve Mustafa babama, en içten teşekkürlerimi sunarım.

Zehra YİĞİT AVDAN

Haziran 2015

Sevgili Eşim'e

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜRLER	iii
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii

1. GİRİŞ	1
1.1. Literatürde Yapılmış Çalışmalar	5
1.1.1. Sediment Birikimi ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	5
1.1.2. Karbon ve Nütrient Birikimi ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	8
2. TARIMSAL HAVZALARDAN KAYNAKLANAN KİRLİLİK	11
3. SULAK ALANLAR	13
3.1. Sulak Alanların Özellikleri.....	14
3.2. Sulak Alan Türleri.....	16
3.3. Sulak Alanlarda Sediment ve Organik Madde Birikimi	17
3.3.1. Sulak Alanlarda Sedimentasyon Hızının Ölçümü	18
3.4. Sulak Alanlarda Karbon Birikimi	21
3.4.1. Sulak Alan Topraklarında Karbon Birikimini Etkileyen Faktörler.....	26

3.5. Sulak Alanlarda Azot Birikimi	27
3.6. Sulak Alanlarda Fosfor Birikimi.....	29
4. MATERYAL VE YÖNTEM	32
4.1. Çalışma Alanı	32
4.2. Saha Çalışması	35
4.2.1. Sediment Örnekleme.....	35
4.3. Deneysel Yöntemler	38
4.3.1. Yığın (Bulk) Yoğunluğu ve Nem İçeriği	39
4.3.2. Partikül Boyut Analizi	40
4.3.3. ²¹⁰ Pb Radyoizotop Analizleri	43
4.3.4. Organik Madde Analizi.....	44
4.3.5. Karbon, Azot ve İzotopik ¹³ C Analizleri	45
4.3.6. Toplam Fosfor Analizi	47
5. BULGULAR	49
5.1. Sediment Korlarının Fiziksel Özellikleri	49
5.2. Sediment Korlarında Organik Madde Birikimi.....	54
5.2.1. Organik Maddenin Yığın Yoğunluğu ile İlişkisi	58
5.2.2. Organik Maddenin Partikül Boyut ile İlişkisi	58
5.3. Sediment Korlarındaki Karbon ve Azot Birikimi	59
5.4. Sediment Korlarında Fosfor Birikimi	73
5.5. Sedimentasyon Hızı	76
5.6. Karbon, Azot, Fosfor Birikimi	83
6. DEĞERLENDİRME	88

7. SONUÇ VE ÖNERİLER	100
KAYNAKLAR	103
EKLER.....	110
EK-1 Sulak Alan Sedimentlerinin Fiziksel Özellikleri	110
EK-2 Sulak Alan Sedimentlerinin C, N ve P Karakterizasyonu	112
EK-3 ²¹⁰Pb, Sedimentasyon Hızı ve Tarihlendirme	115

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1	Uranyum bozunma serisi	18
Şekil 3.2	²¹⁰ Pb izotopunun sucul ortamdaki potansiyel kaynakları	19
Şekil 3.3	Sulak alanlarda karbon döngüsünün ana komponentleri [4, 7, 74-76]..	23
Şekil 3.4	Sulak alanlarda karbonun birikimi	24
Şekil 3.5	Sulak alan ekosistemlerindeki toprak organik maddesinin parçalanması.....	25
Şekil 3.6	Sulak alanlarda topraklarındaki aerobik-anaerobik azot transformasyonunu tanımlayan sulak alan azot döngüsü [4, 7, 75] ...	28
Şekil 3.7	Sulak alanlarda fosfor döngüsü [4, 7] (AİP: Adsorplanan İnorganik P, ÇİP: Çözünmüş İnorganik P, ÇOP: Çözünmüş Organik P, PİP: Partikül İnorganik P, POP: Partikül Organik P).....	29
Şekil 4.1	Amerika Birleşik Devletleri Kaliforniya Eyaleti çalışma alanı (Stanislaus Bölgesi ve Merced Bölgesi).....	33
Şekil 4.2	San Jaoquin Ulusal Yaban Hayatı Koruma Bölgesindeki nehir kıyısı alanı	34
Şekil 4.3	San Luis Ulusal Yaban Hayatı Koruma Alanı Devamlı ve Geçici Sulak Alan	35
Şekil 4.4	Sediment Örneklemede Kullanılan örnekleyici (AMS Çok aşamalı çamur ve sediment örnekleme kiti (AMS, American Falls ID))	36
Şekil 4.5	Farklı Alanlardan Sediment Örnekleme Kitini Kullanarak Sediment Örnekleme	36
Şekil 4.6	Alınan sediment kor örneklerinin ön hazırlıkları	38
Şekil 4.7	Alınan sediment kor örneklerinin ön hazırlıkları	39
Şekil 4.8	Alınan sediment kor örneklerinin ön hazırlıkları	39
Şekil 4.9	Analizlerde kullanılan vakumlu fırın (VWR, USA) ve tartı (Sartorius CP225D).....	40
Şekil 4.10	Toprak bünye (tekstür) üçgeni.....	41
Şekil 4.11	Elek Analizinde kullanılan çalkalayıcı (ELE Rotasift Sieve Shaker), tartı (Mettler PC 4400), kap ve farklı dane çaplarına sahip elekler ...	42
Şekil 4.12	Hidrometre analizinde kullanılan çalkalayıcı ve hidrometre mezürü..	43
Şekil 4.13	Gama Radyoaktivite Cihazı, ölçüme hazırlanmış numuneler	44

Şekil 4.14 Organik madde analizi.....	45
Şekil 4.15 Elementel Analiz Cihazı (Thermo Scientific Flash 2000 CHNS-O analyzer) ve mikro tartı (Mettler Toledo)	46
Şekil 4.16 Elementel Analiz Cihazı _İzotop Oran Kütle Spektrofotometresi (Thermo Scientific Flash Delta V™ Isotope Ratio Mass Spectrometer)	47
Şekil 4.17 Toplam Fosfor analizinin akış şeması	48
Şekil 4.18 Toplam Fosfor analizinin yapılışı ve kullanılan cihazlar	48
Şekil 5.1 Devamlı sulak alan korlarının derinliğe bağlı yığın yoğunluğu (☒) ve nem içeriği (✱) değişimi	50
Şekil 5.2 Devamlı sulak alan korlarının derinliğe bağlı partikül boyut dağılımı (Kil: ■, Silt: ×, Kum: ○)	51
Şekil 5.3 Geçici sulak alan korlarının derinliğe bağlı yığın yoğunluğu (☒) ve nem içeriği (✱) değişimi	52
Şekil 5.4 Geçici sulak alan korlarının derinliğe bağlı partikül boyut dağılımı (Kil: ■, Silt: ×, Kum: ○)	53
Şekil 5.5 Nehir kıyasalı alanından alınan korlardaki organik maddenin profilleri	54
Şekil 5.6 Devamlı sulak alandan alınan korlardaki organik maddenin derinliğe bağlı değişimi	56
Şekil 5.7 Geçici sulak alandan alınan korlardaki organik maddenin derinliğe bağlı değişimi	57
Şekil 5.8 San Joaquin UYKA alanından alınan SJR_CR_1 ve SJR_CR_2 sediment korundaki derinliğe bağlı C kompozisyonu (OC: ☒, TC: ●)	59
Şekil 5.9 San Joaquin UYKA alanından alınan SJR_CR_1 ve SJR_CR_2 sediment korundaki derinliğe bağlı N kompozisyonu.....	60
Şekil 5.10 Devamlı sulak alandan alınan SL_PWL_1 ve SL_PWL_2 sediment korundaki derinliğe bağlı C kompozisyonu (OC: ☒, TC: ●).....	62
Şekil 5.11 Devamlı sulak alandan alınan SL_PWL_1 ve SL_PWL_2 sediment korundaki derinliğe bağlı N kompozisyonu	63
Şekil 5.12 Geçici sulak alandan alınan SL_SWL_1 ve SL_SWL_2 sediment korundaki derinliğe bağlı C kompozisyonu (OC: ☒, TC: ●).....	64

Şekil 5.13 Geçici sulak alandan alınan SL_SWL_1 ve SL_SWL_2 sediment korundaki derinliğe bağlı N kompozisyonu	65
Şekil 5.14 Nehir kıyısı alanındaki sedimentlerde C/N oranının derinliğe bağlı dikey profilleri.....	67
Şekil 5.15 Nehir kıyısı alanından alınan korlardaki $\delta^{13}\text{C}$ profilleri	68
Şekil 5.16 Devamlı sulak alandaki sedimentlerde C/N oranının derinliğe bağlı dikey profilleri.....	69
Şekil 5.17 Devamlı sulak alandan alınan korlardaki $\delta^{13}\text{C}$ profilleri.....	70
Şekil 5.18 Geçici sulak alandaki sedimentlerde C/N oranının derinliğe bağlı dikey profilleri.....	71
Şekil 5.19 Geçici sulak alandan alınan korlardaki $\delta^{13}\text{C}$ profilleri	72
Şekil 5.20 Nehir kıyısı alanındaki sedimentlerde toplam fosforun derinliğe bağlı dikey profilleri.....	73
Şekil 5.21 Devamlı sulak alandan alınan sedimentlerde toplam fosforun derinliğe bağlı dikey profilleri.....	74
Şekil 5.22 Geçici sulak alandan alınan sedimentlerde toplam fosforun derinliğe bağlı dikey profilleri.....	75
Şekil 5.23 Nehir kıyısı devamlı alanındaki sediment korunda (SJR_CR_1) ^{210}Pb ve doğrusal sedimantasyon hızının derinliğe bağlı dikey profilleri.....	76
Şekil 5.24 Nehir kıyısı geçici alanındaki sediment korunda (SJR_CR_2) ^{210}Pb ve doğrusal sedimantasyon hızının derinliğe bağlı dikey profilleri ...	78
Şekil 5.25 Devamlı sulak alandan alınan SL_PWL_1 sediment korundaki ^{210}Pb ve doğrusal sedimantasyon hızının derinliğe bağlı dikey profilleri ...	79
Şekil 5.26 Devamlı sulak alandan alınan SL_PWL_2 sediment korundaki ^{210}Pb ve doğrusal sedimantasyon hızının derinliğe bağlı dikey profilleri ...	80
Şekil 5.27 Geçici sulak alandan alınan SL_SWL_1 sediment korundaki ^{210}Pb ve doğrusal sedimantasyon hızının derinliğe bağlı dikey profilleri	81
Şekil 5.28 Geçici sulak alandan alınan SL_SWL_2 sediment korundaki ^{210}Pb ve doğrusal sedimantasyon hızının derinliğe bağlı dikey profilleri	82
Şekil 5.29 Nehir kıyısından alınan SJR_CR_1 sediment korundaki C, N, P birikim hızının zamana bağlı dikey profilleri.....	83

Şekil 5.30 Nehir kıyısından alınan SJR_CR_2 sediment korundaki C, N, P birikim hızının zamana bağlı dikey profilleri.....	84
Şekil 5.31 Devamlı sulak alandan alınan SL_PWL_1 sediment korundaki C, N, P birikim hızının zamana bağlı dikey profilleri	85
Şekil 5.32 Devamlı sulak alandan alınan SL_PWL_2 sediment korundaki C, N, P birikim hızının zamana bağlı dikey profilleri	85
Şekil 5.33 Geçici sulak alandan alınan SL_SWL_1 sediment korundaki C, N, P birikim hızının zamana bağlı dikey profilleri.....	86
Şekil 5.34 Geçici sulak alandan alınan SL_SWL_2 sediment korundaki C, N, P birikim hızının zamana bağlı dikey profilleri.....	87
Şekil 6.1 Sulak alanlardan alınan farklı sediment korlarındaki OM'nin zonlara göre dağılımı	88
Şekil 6.2 Sulak alanlardan alınan farklı sediment korlarındaki toplam karbonun (g/kg) zonlara göre dağılımı.....	90
Şekil 6.3 Sulak alanlardan alınan farklı sediment korlarındaki toplam azotun (TN) zonlara göre dağılımı.....	91
Şekil 6.4 Sulak alanlardan alınan farklı korlardaki toplam fosforun zonlara göre dağılımı.....	92
Şekil 6.5 Sulak alanlardan alınan farklı korlardaki sedimantasyon hızının zonlara göre dağılımı.....	93
Şekil 6.6 Sulak alanlardan alınan farklı korlardaki karbon birikim hızının zonlara göre dağılımı	94
Şekil 6.7 Sulak alanlardan alınan farklı korlardaki N birikim hızının zonlara göre dağılımı.....	97
Şekil 6.8 Sulak alanlardan alınan farklı korlardaki P birikim hızının zonlara göre dağılımı.....	98

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Farklı kaynaklarda ortalama karbon birikimi [68].	21
Çizelge 3.2 Sulak alanlarda tarımsal akışla ilişkili olan azot türleri [14, 89].	27
Çizelge 3.3 Sulak alan sistemlerinde meydana gelen azot süreçleri [90].	27
Çizelge 3.4 Sulak alan sistemlerinde bulunan fosfor türleri	30
Çizelge 4.1 SJNUYKA alanından Kasım ayında alınan sediment korlarının özellikleri	37
Çizelge 4.2 SLUYKA alanından Nisan ayında alınan sediment korlarının özellikleri	37
Çizelge 4.3 SLUYKA alanından Mayıs ayında alınan sediment korlarının özellikleri	37
Çizelge 5.1 San Jaoquin UYKA alanından alınan sediment korlarının fiziksel özellikleri	50
Çizelge 5.2 Devamlı ve geçici sulak alan korlarındaki OM'nin yığın yoğunluğu ile ilişkisi	58
Çizelge 5.3 Devamlı ve geçici sulak alan korlarındaki OM'nin kum, kil ve silt yüzdesi ile ilişkisi	58
Çizelge 5.4 Çeşitli materyallerin tipik $\delta^{13}\text{C}$ izotopik aralıkları	66
Çizelge 6.1 Sedimentasyon hızlarına göre sulak alanların sediment ile kaplanacağı zaman aralıkları	94
Çizelge 6.2 Sediment korlarının derinliğine bağlı TC değerine eşdeğer CO_2 ve CH_4 olası emisyon değerleri	96

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ABD: Amerika Birleşik Devletleri

BMPs: En İyi Yönetim Uygulamaları (Best Management Practices)

C: Karbon

CIC: Sabit Başlangıç Derişimi (Constant Initial Concentration)

CRS: Sabit Hızlı Kaynak (Constant Rate Supply)

FAO: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization of the United Nations)

IPCC: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change)

N: Azot

OC: Organik Karbon

OM: Organik Madde

OECD: Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (Organisation for Economic Co-Operation and Development)

P: Fosfor

Pg: Petagram

SJNUYKA: San Joaquin Nehri Ulusal Yaban Hayatı Koruma Alanı (San Joaquin River National Wildlife Refuge)

SLUYKA: San Luis Ulusal Yaban Hayatı Koruma Alanı (San Luis National Wildlife Refuge)

TOC: Toplam Organik Karbon

TC: Toplam Karbon

TN: Toplam Azot

TP: Toplam Fosfor

TS: Toplam Sülfür

US EPA: Amerika Çevre Koruma Ajansı (United State Environmental Protection Agency)

USDA: Amerika Tarım Departmanı (United States Department of Agriculture)

1. GİRİŞ

2012 yılında yayımlanan Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD - Organisation for Economic Co-Operation and Development) çevre tahmin raporunda, son kırk yılda insanlığın oldukça fazla büyüme gösterdiği ve refaha kavuştuğu, ayrıca 1970 yılından sonra dünya ekonomisinin üç kattan fazla büyüüp, dünya nüfusunun 3 milyar arttığı vurgulanmaktadır. 2050 yılında dünya nüfusunun 7 milyardan 9 milyara çıkması ve dünya ekonomisinin yaklaşık dört katına çıkarak, enerji ve doğal kaynaklara olan talebin artması beklenmektedir [1]. Artan nüfusun gıda ihtiyacının karşılanması sırasında tarım için en önemli konu çevre kirliliği ve doğal kaynakların yeni nesillere bozulmadan aktarılmasıdır.

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO - Food and Agriculture Organisation of the United Nations) tahminlerine göre, dünya nüfusunun artmasıyla 2030 yılında tarım üretiminin % 40, 2050 yılında ise % 70 artması beklenmektedir. Günümüzde yaklaşık olarak 1,4 milyar hektar tarım alanında üretim yapılmaktadır. Artan nüfusun ihtiyaçlarına cevap verebilmek için tarım alanlarının ikiye katlanacağı belirtilmektedir. Aynı zamanda artan nüfusun yerleşim ve diğer alan kullanımları için birincil öncelikteki tarım arazileri kullanılmaya başlanacaktır. Tarımsal üretimin devam edebilmesi için verimli arazilerin yerine erozyona yatkın ve daha çok tarım ilacı ihtiyacı olan tarım arazileri belirlenecektir [2].

Yaygın kaynak (noktasal olmayan kaynak) kirliliğine sebep olan tarımsal arazilerden gelen akış, küresel olarak içme suyu kaynakları ve sucul habitatlar için en önemli problemlerden biridir. Amerika Çevre Koruma Ajansı'nın (US EPA- United States Environmental Protection Agency) su kalitesi envanterine göre noktasal olmayan kaynak kirliliği yüzeysel suların su kalitesinin bozulmasına sebep olmaktadır [3]. Sediment, nütrientler (N ve P), pestisitler, patojenler, tuzlar, eser elementler, çözünmüş organik karbon ve biyolojik oksijen ihtiyacının oluşmasına yol açacak maddeler tarımsal akıştan yüzeysel su kaynaklarına giren kirleticilerdir. Sucul ekosistemlerin, besin elementlerinin deşarjı ile sucul ortamların trofik ilişkilerinin bozulması ve dünya çapında bu ekosistemlerde hipoksi/anoksi (oksijen

yetmezliği) oluşması sonucunda kullanılamaz ölü bölgeler haline geldiği görölmektedir [4]. Sonuç olarak, tarımda yeni ve etkin yönetim uygulamaları belirlenerek, su kaynakları üzerindeki tarımsal etkinin azaltılması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması gerekmektedir.

Tarımsal akışın yol açacağı çevre kirliliğinin ortadan kaldırılması için düşük maliyetli, en iyi yönetim uygulamalarına ihtiyaç duyulmaktadır ve duyulacaktır. Sulak alan sistemleri tarımsal akışın alıcı ortama deşarj edilmeden önce su kalitesinin artırılmasında en iyi yönetim uygulaması (BMPs - Best Management Practices) olarak önerilmektedir [5]. Tarımsal alanlardan kaynaklanan atıksuların doğrudan alıcı ortama karışmadan önce sulak alanlara deşarj edilmesi ve taşıdıkları organik, besin madde yüklerinin sulak alanda birikmesi ile alıcı ortam kalitesinin artırılması gerçekleşmektedir.

Sulak alanlar, doğal işlevleri ve ekonomik değeriyle yeryüzünün en önemli ekosistemlerindendir. Bulundukları bölgenin su kalitesini yükselten ve fazla miktardaki suyu emip depolayan bir sünger vazifesi görerek su rejimini düzenleyen sulak alanlar, ekolojik döngüdeki işlevleriyle de zengin biyolojik çeşitlilik sunan kaynaklardır. Günümüzde bataklık veya sazlık olarak tanımlanan sulak alanlar, özellikleri ve içerdikleri canlı toplulukları yönünden büyük bir öneme sahiptirler.

Sulak alanlarda biriken sedimentler; element derişimlerinin derinliğe bağlı zamansal dağılımı, sudaki elementlerin dağılımı, akısı ve birikim oranını elde etmede, ekosistemde gerçekleşen doğa ve insan kaynaklı olayların kronolojisini ve çevreye etkilerini belirlemede kullanılan çok değerli kaynaklardır [6]. Bu çalışmalarda kullanılan yöntemler içinde nükleer teknikler son kırk yılda önemli gelişmeler kaydetmiştir. Bunların içinde radyometrik tarihlendirme teknikleri sediment birikim hızının hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Sulak alanlar, ortamda birincil üretimin yüksek, bozunma hızının yavaş olmasından ve sediment biriktirme özelliklerinden dolayı yüksek miktarda organik maddeyi biriktirebilirler. Karbonun toprakta tutulmasının artırılması yapay olarak endüstriyel ölçekte jeomühendislik depolama yapılarıyla ya da doğal olarak korunan ve restore edilen ekosistemlerde olmaktadır. Bu ekosistemlerin en önemlilerinden bir tanesi sulak alanlardır. Sulak alanlar hem farklı kaynaklarla

giren karbonu tutarak karbon yutağı, hem de biyojeokimyasal süreçlerle metan ve nitröz oksit üreterek karbon kaynağı olarak bilinirler [7].

20. Yüzyılın başlarında ürünlerden maksimum verimi alabilmek ve yeterli nütrient gereksinimini sağlayabilmek için üreticiler kimyasal gübreler kullanmaya başlamışlardır. Bu gübrelerin kullanımı sonucunda alıcı ortamlara verilen nütrient yükleri artmaya başlamıştır [8, 9]. Günümüzde sucul sistemlere tarımsal alanlardan giren iki önemli nütrient azot ve fosfordur [10]. Amerika ve Birleşmiş Milletler Uluslararası Hidroloji Programı'nda yapılan çalışmalara göre iç sulara giren toplam kirliliğin % 65'ini yaygın kaynak kirliliği oluşturmaktadır [11, 12]. Artan tarım ve gübre uygulamaları nütrient ve sedimentlerin alıcı ortamlara deşarjlarını artırmaktadır [12-15]. Alıcı su ortamlarında sedimentler balık habitatlarının bozulmasına, ışık geçirgenliğinin, rekreasyonel kullanımın ve sucul ortamların su depolama kapasitesinin azalmasına sebep olan en önemli kirletici kaynaktır [10, 16].

Bu tez çalışmasında; nehir kıyısı, devamlı ve geçici sulak alan sediment korlarında biriken sediment, karbon, azot ve fosfor miktarlarının zamana bağlı değişimlerinin hesaplanması ve birbirleri ile olan ilişkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma, Amerika Birleşik Devletleri, Kaliforniya eyaletinde Merkez Vadi (Central Valley) olarak adlandırılan kısımda bulunan San Joaquin Nehri Ulusal Yaban Hayatı Koruma Alanı (SJNUYKA) ve San Luis Ulusal Yaban Hayatı Koruma Alanı (SLUYKA)'nda gerçekleştirilmiştir.

Bu kapsamda; tarımsal akış alan nehir kıyısı (riparian), devamlı ve geçici sulak alanların sediment korlarında, yığın yoğunluğu, nem içeriği (gravimetrik analiz), partikül boyut dağılımı (hidrometre analizi) gibi fiziksel özellikler belirlenmiş, ^{210}Pb radyonüklid aktiviteleri (gama aktivite ölçümü) ve CRS (Constant Rate Supply- Sabit Hızlı Kaynak) modeli ile birikim hızının belirlenmesi ve tarihlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Buna bağlı olarak biriken organik maddenin (yanma kaybı analizi), toplam ve organik karbonun miktarı belirlenmiş ayrıca C/N ve δC^{13} izotopu kullanılarak karakterizasyonu yapılmıştır. Besin elementlerinden toplam azot ve toplam fosfor birikimleri belirlenerek karbon ile ilişkileri araştırılmıştır. Karbon, δC^{13} izotopu ve azot elementel analiz ile, fosfor analizi ise asit persülfat yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

Tarımsal havzalarda karbon ve nütrientlerin birikiminde biyojeokimyasal süreçler ve mekanizmalar açısından bilinmeyenler alan ölçeğinde oldukça fazladır. İklim değişikliği çalışmalarında en büyük eksiklik farklı bölgelerdeki sulak alanlarda biriken karbonun belirlenememesidir. Bu tez kapsamında, çalışma alanı olan San Joaquin ve San Luis Ulusal Yaban Hayatı Koruma Alanı'ndaki sedimentlerde karbon ve nütrient birikimi çalışması ilk defa yapılmıştır. Ayrıca bu sulak alanlar doğal ve restore edilerek yönetilen alanlardır. Çalışmada hem doğal hem de restore edilen alanların karbon ve nütrient birikimi açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu anlamda da ulusal ve uluslararası literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Küresel ölçekte bu konudaki çalışmalar devam etmekle birlikte, ülkemizde bu konuda yapılan çalışmaların azlığı ve/veya çalışmaların sulak alanlarda olmaması, bu çalışmanın yapacağı katkıyı ortaya koymaktadır.

1.1. Literatürde Yapılmış Çalışmalar

1.1.1. Sediment Birikimi ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Sulak alanlarda alanın üretkenliği, tür çeşitliliği ve su kalitesi açısından sedimentin ve besin maddelerinin birikim miktarını ve hızını belirlemek için tarihlendirme önem taşımaktadır. Sulak alanlardan alınan sediment korlarındaki radyonüklid derişimleri gibi kimyasal kompozisyonlar, su ekosistemlerinde meydana gelen fizikokimyasal süreçler hakkında değerli bilgi kaynağıdır. Radyoaktif iz metallerden kurşunun doğal radyoizotopu ^{210}Pb , 20 yıldan fazla süredir yakın geçmişteki olayları tarihlendirmede, yıllık olarak biriken sediment miktarının hesaplanmasında ve kirliliğin tarihlendirmesini belirlemede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Böylece sedimentlerdeki ^{210}Pb profili kirleticinin tarihi ve kaynağı hakkında bilgiler içerir [17, 18].

^{210}Pb ($t_{1/2}=22,3$ yıl) radyoizotopunun jeokronometre (jeolojik sayaç) olarak kullanılabileceğini ilk kez Goldberg 1963 yılında öne sürmüştür. Buz örtüsü üzerinde yaptığı çalışmada birikim hızı hesaplamalarında ^{210}Pb tarihlendirmesinin temel metodolijisini ortaya koymuştur [19].

Krishnaswamy ve ark. tarafından bu teknik 1971 yılında son yıllarda meydana gelen çevresel değişimlerin tarihlendirilmesi için göl sedimentlerine uyarlanmıştır [20].

Appleby ve Oldfield 1978 yılında İrlanda'daki Erne ve Neagh göllerinden, Papua Yeni Gine'deki İpea ve Egari göllerinden alınan sedimentlerde ^{210}Pb tarihlendirme çalışması yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda göllerin drenaj havzasındaki insan aktivitelerinin, birikim hızının değişmesi ile ilişkili olduğunu gözlemlemişlerdir [21].

Craft ve Casey 2000 yılında Güneybatı Georgia'da radyometrik yaşlandırma teknikleriyle (^{210}Pb ve ^{137}Cs) yaptıkları çalışmada, tatlısu sulak alanları, nehir kıyısı (riparian) bölgeleri ve taşkınla oluşmuş sulak alanlardaki sediment ve nütrient birikiminin farklarını incelemişlerdir. Sediment ve nütrient birikimlerinin bu sulak alan türleri arasında oldukça farklı olduğunu görmüşlerdir.

Bu farklılığın o alanın tarihsel olarak nasıl kullanıldığına, hidrolojisine, bitki türüne, net birincil üretim hızına bağlı olarak değişeceğini vurgulamışlardır [22].

Benoit ve Rozan 2001'de Connecticut'da 3 farklı gölde yaptıkları çalışmalarda ^{210}Pb tekniğinden faydalanarak son 20 yıldaki sedimentasyon hızını ve eser elementlerin birikimini belirlemişler ve ^{137}Cs radyoizotopunu kullanarak ^{210}Pb tekniği ile bulduklarını doğrulamışlardır [17].

Heim ve ark. 2004 yılında yaptıkları çalışmada Almanya'daki Lippe nehrinde oluşan nehir kıyısı (riparian) sulak alanlarının sedimentlerinde antropojenik kirleticilerin jeolojik kronolojisini çıkarmışlardır. 1930 ve 1986 yılları arasındaki ağır metallerin, hidrokarbonların, poliklorlanmış bifenillerin tarihsel olarak dağılımlarına bakarak hangi aktivitelerden nehre taşındığını belirlemişlerdir [23].

Aalto ve Dietrich 2005 yılında Papua Yeni Gine'de bulunan Strickland Nehri taşkın alanlarında yaptıkları çalışmada sediment birikimini ^{210}Pb jeokronoloji yöntemiyle belirlemişlerdir. Son on yılda Strickland Nehrine deşarj edilen sediment miktarı farklı noktalardan ölçülmüştür. Taşkın alanlarında 2003 yılında toplanan 36 kor örneğinden elde edilen ilk sonuçlar alfa aktivitesi kullanılarak ^{210}Pb jeokronoloji yöntemine göre belirlenmiştir. Nehrin yukarı kısımlarında bulunan çakıl kum geçiş bölgesi yakınlarında birikim hızının en yüksek olduğu, nehrin orta kısmında birikimin düşük olduğu görülmüştür. Strickland nehrinin alt kollarında Fly nehrinin birleşme noktasında birikimin tekrardan yükseldiği görülmüştür [24].

Bonotto ve Lima 2006 yılında Brezilya'daki Corumbatai nehir havzasından aldıkları iki korla aşırı ^{210}Pb aktivite profillerini belirleyerek antropojenik kaynakların tarihsel olarak girişleri için, havzadaki hidrolojik kaynakların yönetim stratejilerini geliştirmek için yeni görüşler ortaya çıkarmışlardır. Sediment korlarında organik madde ile yanma kaybı arasında önemli bir ilişki olduğunu ve silika ile organik madde arasında ters orantılı bir ilişki olduğunu göstermişlerdir [25].

Begy ve ark. 2009 yılında Romanya'da bulunan Red Gölünde sediment birikim hızını belirlemek için ^{210}Pb ve ^{137}Cs radyoizotoplarını kullanmışlardır. İki

radyoizotopun derişimlerinin belirlenmesinde Hp-Ge dedektörü bulunan gama spektrometresi kullanmışlardır ve ^{210}Pb izotopu için aktivite değerlerini 41 ± 7 ile 135 ± 34 Bq/kg arasında bulmuşlardır. Tarihlendirme hesaplamalarında CIC (Sabit Başlangıç Derişimi - Constant Initial Concentration) ve CRS modellerini kullanmışlardır. CRS modelinin sonuçlarına göre son 7-8 yılda sedimantasyon sürecinin arttığı görülmüştür. Ayrıca sediment katmanlarının ^{210}Pb ve ^{137}Cs 'den elde edilen yaşların birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür. İki radyoizotopu kullanarak ortalama sedimantasyon hızını 1.23 ± 0.6 cm/y olarak hesaplamışlardır. İnsan aktivitelerinden oldukça fazla etkilendiği için ortalama sedimantasyon hızının yüksek olduğu görülmüştür. Alınan 1. sediment kor noktasındaki CIC modeli sonuçlarına göre 184 ± 30 yıl içerisinde gölün tamamen yok olacağını hesaplamışlardır [26].

Yıldız ve Yener 2010 yılında Van gölünde yaptıkları çalışmada Van Gölü'nün doğusundan aldıkları üç sediment korunda denge üstü ^{210}Pb profil dağılımlarını CRS modeli kullanarak sediment birikim hızını hesaplamışlar ayrıca her katmanın tarihlendirmesini yapmışlardır. ^{210}Pb aktivitesinin, ^{210}Po 'nun alfa spektrofotometresi ile ölçülen aktivitelerden elde etmişlerdir. Alınan kor örneklerindeki ortalama sediment birikim hızlarını $0,031\pm0,011$, $0,046\pm0,021$ ve $0,077\pm0,051$ g/cm².y olarak hesaplamışlardır. İnsan aktivitelerinin, tarımsal ve akarsu alanlarından taşınımın yüksek olduğu kesimlerde sediment birikim hızlarının çok daha yüksek olduğu gözlenmiştir [27].

Türkiye'de sediment korlarının tarihlendirilmesi konusundaki çalışmalar sınırlıdır. Türkiye'de sismik hareketlerle ilişki kurabilmek için hidrotermal alandaki sediment korlarında tarihlendirme yapılmıştır [28]. Küçük Menderes havzasında yapılan çalışmada toprakta bulunan kurşunun bitkilere ne kadar geçtiğini saptamak için kurşun tarihlendirmesi yapılmıştır [29]. Ayrıca termik santrallerden kaynaklanan kirliliğin saptanması için biyoindikatör olarak bazı likenler ve karayosunlarında biriken kurşun miktarları saptanmıştır [30]. Ülkemizde yarıyıl ömürleri 100 yıl veya daha fazla olan radyonüklidler ile genellikle jeolojik katmanlaşma çalışmaları yapılmıştır.

1.1.2. Karbon ve Nütrient Birikimi ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Küresel olarak karbon dünyadaki farklı kaynaklarda bulunmaktadır. Doğal karbon kaynakları okyanuslar, fosil yakıtlar, karasal sistemler ve atmosferdir. Karasal sistemlerde karbon depolayan en önemli kaynaklardan biri sulak alanlardır. Sulak alanlardaki karbonun birikimi ve karbon akısını değerlendirmek üzere birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalara göre sulak alanlar iklim ve lokasyon gibi çevresel özelliklere, işletimine ve yaşına göre hem karbon yutağı hem de kaynağı olabilirler.

Post ve ark. 1982 yılında yaptıkları çalışmada dünyadaki sulak alanların toplam 280 milyon ha olduğunu, sulak alanlardaki ortalama karbon yoğunluğunun 723 ton/ha olduğunu raporlamışlardır. Buna göre dünyadaki sulak alanlarda toplam olarak 202,4 milyar ton karbon depolanmaktadır. Dünya toprak karbonunun 1395,3 milyar ton olduğu ve sulak alanlarda biriken karbonun bu değerin % 15'ine karşılık geldiği görülmektedir [31].

Sulak alan topraklarında yapılan birçok çalışmada karbon içeriği ağırlıkça % olarak ifade edilir. Çünkü derinliğe bağlı organik madde içeriği özgün olmadığı durumlarda birim alandaki karbon birikiminin belirlenmesi zordur. Özellikle turbalık olan sulak alanlarda karbon yoğunluğu turbanın derinliğinden direk olarak etkilenmektedir [32].

Sulak alanların çevresinde gerçekleşen tarımsal etkinlikler, sedimentlerdeki karbon birikimi hızını artırmaktadır, bu da sulak alan ekosistemlerinde nütrientlerin birikimine katkı sağlamaktadır. Amerika Maryland'de bulunan tarım arazileri ve nehir kıyısı (riparian) alanlarında yapılan çalışmada 0,16 – 0,22 kg C/m².y karbon birikim hızının olduğu belirlenmiştir. Sulak alanlardaki karbon birikimini etkileyen en önemli parametrelerin erozyon ve toprak hareketi olduğu görülmüştür [33].

Gorham 1998'e göre dünyadaki toprak organik karbonunun % 20-25'inin (350-535*10⁹ ton) sulak alanlarda depolandığı tahmin edilmektedir [34]. Buna rağmen, sulak alanlarda biriken gerçek karbon miktarı oldukça yüksek belirsizlikle tahmin edilebilir, çünkü farklı sulak alanlardaki karbon miktarı akışları oldukça değişkendir.

Karasal karbon havuzlarının önemli bir kısmı toprakta biriken karbondur. Dünyadaki topraklarda biriken karbon atmosferik karbon için önemli yutaktır [35, 36].

2003 yılında Lal tarafından sera gazlarının etkilerinin azaltılması için küresel toprak karbon birikimi üzerine yapılan çalışmada toprak organik karbonunun 1550 Pg (Petagram) ve yeryüzünde küçük bir alanı kaplamasına rağmen sulak alanların bu miktarın yaklaşık 1/3'ünü depoladığını göstermişlerdir [36].

Farklı bölgelerdeki sulak alanlarda karbon birikimi ve birikimi etkileyen faktörler ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Toprak karbon havuzları ve iklim arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Artan sıcaklıklarla beraber organik karbon içeriği azalmaktadır, artan her 10°C için bozunma hızı iki kat artmaktadır [37].

Bridgham ve ark. 2006 yılında Kuzey Amerika'da tatlı su sulak alanları mineral toprakları ve nehir ağzında bulunan sulak alanlarda yaptıkları çalışmada yaklaşık olarak 220 Pg karbon birikimi olduğunu gözlemlemişlerdir [38].

Bernal ve Mitsch 2008 yılında Costa Rica ve Ohio'da yaptıkları çalışmada, ılıman ve tropik iklimlerdeki sulak alanlarda toplam karbon birikimini karşılaştırmışlardır. Tropik bölgelerde bulunan sulak alanların, ılıman bölgedekilere göre % 80 daha fazla karbon depoladığını görmüşlerdir. 24 cm'lik kor örneklerinde tropik iklimlerdeki karbon birikimi (17,6 kg C/m²) ılıman iklimlerde biriken karbondan (9,7 kg C/m²) daha fazla olduğunu belirlemişlerdir [39].

Sulak alan ekosistem fonksiyonlarının incelendiği çalışmalarda toprağın, bitki biyokütlesi ile karşılaştırıldığında en önemli uzun dönemli fosfor birikimine sahip olduğu görülmüştür [40, 41]. Toprağın bu özelliği sulak alandaki fosfor derişimi ile birlikte su kalitesini etkilemektedir. Toprakta biriken fosfor genellikle ölü bitkiden kaynaklanır ve organik formda yüzeyde birikir [41, 42]. Suyla kaplı olan kısımlarda, fosforun biyojeokimyasal döngüsü yüzeydeki su-toprak arayüzeyinde gerçekleşir [43, 44].

Bhadha ve ark. Florida Okeechobee gölü drenaj havzasında bulunan restore edilmiş sulak alan ve yüksek alanda derin korlar olarak toprak özelliklerini incelemişlerdir. 4 kor olarak yaptıkları çalışmada yanma kaybı, toplam fosfor ve suda çözülebilir fosfor ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir. 120 cm'den daha derin tabakalarda kil horizonlarının bulunması ile daha az iletkenliğe sahip olan topraklar, yüksek fosfor sorpsiyon kapasitesi göstermiştir. Yüzeydeki organik madde içeriği % 38-48 arasında ve toplam fosfor 100-600 mg/kg arasında değişmekte ve aralarında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır [45].

Yapay sulak alanlarda noktasal kirleticilerin giderimi konusunda oldukça fazla çalışma bulunmasına rağmen, yaygın kaynak kirleticileri için yapılan çalışmalar oldukça azdır. Tarımsal havzalarda bulunan sulak alanlar diğer sulak alanlara göre oldukça farklıdır ve yaklaşık olarak aldıkları atıksu miktarı aynı olsa bile karşılaştırılmaları güvenilir sonuçlar vermeyebilir [46]. Amerika'da 244 arıtma tesisinin deşarj ettiği suda yapılan çalışmada su kalitesi parametrelerinde % 10 standart sapma görülürken, Kaliforniya merkez vadisindeki tarım alanlarından kaynaklı sulama suyundaki su kalitesi parametrelerindeki standart sapma % 50'yi geçmektedir [47, 48].

Türkiye'de sadece ormanlık alandaki topraklarda uzaktan algılama yöntemleriyle karbon birikimi ve tahmini olarak dağılımı konusunda az sayıda çalışma bulunmaktadır. Fakat, sulak alanlarda karbon ve diğer besin maddelerinin birikimi konusunda literatür bulunmamaktadır.

2. TARIMSAL HAVZALARDAN KAYNAKLANAN KİRLİLİK

Su kirliliği kaynakları noktasal ve noktasal olmayan (yaygın kaynak kirliliği) olarak ikiye ayrılır. Noktasal kaynakların belirli bir deşarj noktası bulunduğu için belirlenmesi noktasal olmayan kaynaklara göre daha kolaydır. Noktasal olmayan kirlilik ise tarımsal alanlardan, caddelerden yüzeysel akışla ve topraktan sızarak gelen ve yüzeysel su kaynaklarına ulaşan kirliliktir ve bu sebeple belirlenmesi daha zordur. Ek olarak, yer altı suyu, akarsuları ve gölleri beslediğinden kirleticiler bu yollarla yüzeysel su kaynaklarına ulaşmaktadır. Yaygın kirlilik yağıştan kaynaklanan akışla oldukça ilgilidir. Yağış çok farklı şekillerde gerçekleşmektedir. Yağmur noktasal olmayan kirlilik için birincil öneme sahip bir yağış türüdür. Yağışın özelliği (yağış yoğunluğu, zaman, miktar, dane boyut dağılımı, oluşum sıklığı gibi) önemlidir. Noktasal olmayan kirlilik, iklimsel faktörler ve özgün kara özelliklerinin (toprak tipi, toprak yönetimi, topografya) bir fonksiyonudur. Yağış yoğunluğu ve zaman ile yağışın toplam miktarı belirlenir. Yağışın yoğunluğu ve toplam miktarının oluşan kirlilik üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır [49].

Dünyadaki yaygın kaynak kirliliğinin ana kaynaklarından birisi tarımsal akıştan kaynaklanan kirliliktir ve besin maddeleri açısından zengin olan tarımsal akış sucul ortamlarda yaygın olarak ötrafikasyona neden olur. Dünyadaki en üretken tarımsal bölgelerden biri, Amerika Birleşik Devletleri Kaliforniya eyaletindeki San Joaquin havzasıdır ve San Joaquin Nehrindeki ötrofikasyona katkıda bulunan önemli faktör tarımsal akıştır. San Joaquin nehrine giren tarımsal akışın karakterizasyonuna bakıldığında yüksek miktarda nitrat azotu ve biyolojik olarak çözünebilir reaktif fosfor içerdiği görülmüştür [5, 50]

Tarımsal akış, suyun topraktaki sızmasından sonra ortamda kalan aşırı suyun, yüzeysel akışla alıcı ortamlara karıştığı kısımdır. Topraktaki aşırı su yağıştan, sulamadan ve donmuş topraktaki kar erimesinden kaynaklanmaktadır. Kirleticilerin oldukça büyük alanlardan kaynaklanması ve su kütlesine girdiği noktaların tam olarak belirlenememesinden dolayı tarımsal akış, noktasal olmayan kirleticici kaynağı olarak gruplandırılabilir. Noktasal olmayan kaynak kirleticilerini

su kütlesine girmeden önce tutmak ve arıtmak oldukça zordur. Tarımsal akıştan kaynaklanan kirliliği azaltmak için ya kirleticileri azaltmak veya yok etmek ya da kaynağında iken, yüzeysel ve yer altı su kaynaklarına ulaşmadan arıtılması gerekmektedir [49].

Son zamanlarda akarsu ve göller için tarımsal akıştan kaynaklanan atıksular birincil kirletici kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Tarımsal akıştaki kirleticiler aşınmış toprak partikülleri (sediment), nütrient (azot, fosfor), pestisitler, tuzlar, virüsler, bakteriler, eser elementler ve organik maddelerdir [48]. Sulak alanlar tarımsal akıştan gelen atıksuların alıcı ortama deşarj etmeden önce kirleticileri tutan su kütleleridir.

Tarımsal akıştan kaynaklanan yaygın kaynak kirliliği, içme suyu kalitesini, sucul habitatları ve su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanımını tehdit etmektedir. Tarımsal akışı doğrudan deşarj eden yetiştiriciler için en iyi yönetim uygulamaları yapay ve restore edilmiş sulak alanlara bu akışın deşarj edilmesidir. Doğru konumlandırılan yapay ve doğal sulak alanlarda sediment, nitrat, patojen, partikül fosfor, hidrofobik pestisitler ve bazı eser elementler gibi kirleticilerin giderim verimi % 50'nin üzerinde olmaktadır [48].

3. SULAK ALANLAR

Küresel olarak, sulak alanlar tropik iklimlerden tundra iklimlerine kadar her iklimde bulunabilirler. Yaklaşık olarak yeryüzünün % 6'sını oluştururlar ve bu da 800 milyon hektara denk gelmektedir. Dünyadaki sulak alanların % 2'si göller, % 50'si bataklık, % 26'sı bataklık düzlükleri ve % 15'i taşkın yataklarından oluşmaktadır [51]. Dünya sulak alanlarının yaklaşık olarak % 14'ü Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunmaktadır. Sulak alanlar karmaşık ekosistemlerdir. Bu sistemlerde birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreç meydana gelmektedir. Sulak alanlar küresel biyojeokimyasal döngülerin gerçekleşmesinde kritik rol oynarlar. Sulak alanlar yeryüzündeki biyolojik olarak en üretken olan sistemlerden biridir [7].

Ramsar sözleşmesine göre sulak alanlar doğal veya yapay, devamlı veya geçici, suları durgun veya akıntılı, tatlı, acı veya tuzlu, denizlerin gel-git hareketinin çekilme devresinde altı metreyi geçmeyen derinlikleri kapsayan bütün sular, bataklık, sazlıklardır. Geniş bir yelpazedeki karasal, kıyusal ve denizsel yaşama ortamlarını bir araya getirmektedirler [52]. Sulak alanlar, insan yaşantısı için önemli ekonomik, kültürel ve bilimsel değeri olan mekanlardır. Dünya üzerindeki bazı sulak alanlar uluslararası koruma değerine sahip olup, insan refahı yanında yaban hayatı, çevrenin kalitesinin sürdürülmesi için çok önemli faydalar sağlamaktadır. Karasal sistemlerden su ile taşınan kirleticileri göller, nehirler ve okyanuslara ulaşmadan filtreledikleri için doğal sulak alan sistemleri “yeryüzünün böbrekleri” olarak tanımlanırlar [53].

Sulak alanların tanımlanmasında hidroloji (su ya yüzey suyu olarak yada bitkilerin kökleri seviyesinde bulunur), fiziksel-kimyasal çevre (kendine has toprak yapı ve özellikleri) ve biyota (suda yaşayan bitkiler (Hidrofit)) ve ona bağlı çok zengin biyoçeşitlilik) olarak üç ayırt edici temel özellik bulunmaktadır [53].

Sulak alanların tüm yapısını ve fonksiyonlarını belirleyen en önemli etken hidrolojidir. Sulak alanlar karasal habitatlardan sucul habitatlara doğru hidrolojik eğilim gösteren kompleks ekosistemlerdir [54]. Uygun hidrolojik koşulların elde edilmesiyle fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerinde etkili bir şekilde çalışması

sağlanmaktadır. Düzensiz hidrolojik koşullar sistemdeki bitkilerin ve diğer canlı türlerin devamını imkânsızlaştırmaktadır. Sulak alanın hidrolojik rejimini belirleyen parametreler; bitki sıklığı, zaman, derinlik, akışın sürekliliği, günlük ve/veya mevsimlik su seviyesindeki değişiklikler ve çıkış yapısıdır. Bütün bunların yanında hidrolojik çevrimde yer alan yağış, yüzey akışı, sızma ve buharlaşmanın da göz önünde bulundurulması gerekir [55].

Sulak alan ekosistemlerinde canlılar yaşamlarını sürdürebilmek için enerjiye ihtiyaç duyarlar. Canlılar için enerji dönüşümünde biyojeokimyasal döngüler önemli yer tutarlar. Sulak alanlarda önemli olan biyojeokimyasal döngüler;

- Karbon döngüsü
- Azot döngüsü
- Fosfor döngüsü
- Sülfür döngüsüdür.

Tarımsal alanlar ve yüzeysel suların bir arada bulundukları durumlarda en önemli özellikleri yüzeysel suların korunmasını sağlamalarıdır. Tarımsal drenaj suyunun alıcı ortama deşarj edilmeden önce kalitesini artırmak için sulak alan havuz sistemleri en iyi yönetim uygulamaları olarak önerilmektedir. San Joaquin nehrinin kıyısız düzlüklerinde sediment ve nütrient giderimi için tampon bölge oluşturulması nehrin su kalitesinin korunması için en iyi yönetim şekli olarak kabul edilmiştir [5].

3.1.Sulak Alanların Özellikleri

Sulak alanlar karmaşık yapıları ve birçok fonksiyona sahip olmalarından dolayı, bütüncül havza yönetimi içerisindeki rolünün artırılması için tüm fonksiyonlarının tanımlanması gerekmektedir. Bu fonksiyonlar;

- Taşkın kontrolü
- Yeraltı suyu besleme
- Sediment ve nütrient depolama ve taşıma
- İklim değişikliğini azaltmak ve adaptasyonu sağlamak

- Atıksu arıtımı
- Kıyı stabilizasyonu ve fırtınalardan koruma
- Biyoçeşitlilik rezervuarı
- Sulak alan ürünleri
- Kültürel değer
- Rekresyon ve turizm olarak sıralanabilir [56].

Sulak alanlar gelen akışları yavaşlatarak, şiddetli yağmur ve kar sularının canlı yaşamının yoğun olduğu alanlara ulaşırken yavaşlamasını sağlayarak, oluşabilecek taşkın olaylarının canlı yaşamına zarar vermesini önlerler [56].

Bataklık, göl vb. sulak alanlar yağış suları ve yeraltı sularını kapsayan hidrolojik çevrimin bir parçasıdır. Sulak alanlar doğal sünger olarak anılır ve yağmur, kar sularını filtre eder ve yeraltı sularına ileterek yeraltı suyunu besleme özelliğine sahiptirler [57].

Sahil kenarlarında meydana gelen kasırga, fırtına ve dev dalgaların oluşturduğu hasarı kıyısal sulak alanlarda bulunan bataklık ve turbalık bitkileri kıyı şeridini bir arada tutarak dalgaların yavaşlamasını sağlayarak korur [58] ve böylece doğal olarak taşkınlar önlenmiş olur.

Sulak alanlar nehirler ve bunlara bağlı kollardan gelen sediment ve nütrientler için bir depolama alanı oluştururlar, böylece gübreleme ve evsel atıklardan yüzeysel su kaynaklarına ulaşan azot ve fosforlar bitkiler tarafından tutularak gövde, yaprak ve diğer bölümlerde besin maddesi olarak kullanılırlar. Bunun sonucunda alıcı ortamlardaki su kalitesinin bozulmaması ve iyileştirilmesi sağlanmış olur. Özellikle, içme suyu kaynağı olarak kullanılan yeraltı suyuna bağlantılı olan geçirimli topraklardaki sulak alanlar, nütrient derişiminin toksik miktarlara çıkmasını engellerler. Aynı zamanda yüzeysel su kaynaklarında fazla azot ve fosfora bağlı olarak oluşan ötrofikasyonu engelleyerek, alg patlamasını engellerler, böylece sucul ortam canlılarının yaşam için ihtiyaç duydukları oksijene ulaşırlar ve sürdürülebilir bir ekosistem sağlanmış olur [59].

Birçok sulak alan bitkisi sadece nütrientleri değil, pestisitleri, ağır metalleri ve endüstriyel deşarjlardan kaynaklanan toksik maddeleri uzaklaştırma

kapasitesine sahiptir. Sulak alanlar, tipine ve bulundukları konuma göre iklim değişikliğinden etkilenmektedir. Atmosfere salınan sera gazlarının azaltılmasını sağlayarak küresel ısınmanın etkisini azaltmaktadırlar. Aynı zamanda yeryüzünün yaklaşık olarak % 6'sını oluşturmalarına rağmen yüksek oranda karbon depolamaktadırlar [60].

Sulak alanlar bulundukları coğrafi konumlarına ve özelliklerine göre zengin habitat ve vejetasyon çeşitliliği gösteren biyoçeşitlilik rezervuarlarıdır. Su kuşları, balıklar ve omurgasızlar sulak alanlarda en fazla bulunan canlılardır. Ayrıca bazı sulak alanlar endemik türlere ev sahipliği yapmaktadır, bu alanlar uluslararası öneme sahiptir ve koruma altına alınmıştır. İnsanoğlu için sürdürülebilir bir gelecek sağlamada dünyanın farklı bölgelerinde bulunan genetik çeşitliliğin sağlanması çok önemlidir. Sulak alanlar bu açıdan en zengin alanlardır. Sulak alanlar bulundukları konum ve özelliklerine göre insanlar için yiyecek, inşaat malzemesi, tekstil ve ilaç olarak kullanılan birçok ürün sunmaktadır. Doğal güzellikleri nedeniyle rekreasyonel kullanımlar açısından ilgi çekmekte ve bulunduğu bölgenin halkı için ekonomik katkı sağlamaktadır [56].

3.2. Sulak Alan Türleri

Sulak alan kavramı geniş bir yelpazedeki karasal, kıyısal ve denizsel yaşama ortamlarını bir araya getiren, bir dizi ortak özelliğe sahip olan ekosistemleri kapsamaktadır. Sulak alanlar biyolojik ve fiziksel özelliklerine göre gruplandırıldıklarında 33'ü doğal ve 9'u yapay olmak üzere 42 kategoriye ayrılmaktadır. Çok sayıda sulak alan tanımı olmasına rağmen bu ekosistemlerin kesin ve net bir tanımını yapmak zordur. Sulak alanlar mevsimsel olarak karasal ya da sucul ekosistem özelliği taşıyabilirler. Bu tip sulak alanlar geçici (mevsimsel) sulak alan olarak sınıflandırılırlar. Bazı sulak alanlar ise sürekli su altında bulunurlar. Bu sulak alanlara devamlı (kalıcı) sulak alanlar denmektedir [52].

Nehir kıyısal sulak alanlar normalden daha çok neme veya serbest suya gereksinim duyan bitkilerin yer aldığı alanlardır. Su kaynağı ile bulunduğu yerin fiziksel karakteristiklerine göre nehir kıyısal sulak alanları, büyüklük, vejetasyon ve tür zenginliği bakımından önemli farklılıklar gösterirler. Bu karakteristikler

eğim, bakı, topografya, toprak su kalitesi, yükseklik ve bitki kominiteleri gibi unsurları içerir [52].

3.3. Sulak Alanlarda Sediment ve Organik Madde Birikimi

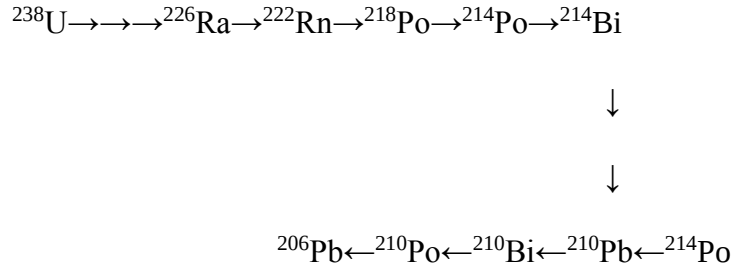
Sulak alanlarda partikül madde, sedimentasyon ve birikim süreçleriyle toprakta ve bentik sediment yüzeyinde birikir ve çözünmüş maddeler olarak dönüşüme uğrayabilir. Toprak yüzeyinde biriken partikül madde, organik ve inorganik formda nütrient ve kirleticileri içerebilir. Ayrıca, su yüzeyindeki bitkiler suyun hızını yavaşlatarak erozyonu azaltırlar. Sedimentler ve partikül organik maddeler dipte birikerek biyolojik olarak aktif bir katman oluştururlar. Bu katmanın kalınlığı, sedimentasyon hızı ve dıştan gelen yüklerle içsel olarak meydana gelen birincil üretimden etkilenebilir. Özellikle tarımsal havzalarda bulunan sulak alanlarda hayvanların ve diğer yaban hayatının etkisi ile su ve toprak ara yüzeyi, sedimentasyon ve organik madde birikimi etkilenebilir. Sulak alanlardaki sediment birikimi, yüzeysel akıslardan etkilendiği için değişkendir. Sulak alanlardaki sediment birikimi fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerden etkilenir. Sulak alanlardaki birikim hızları, bitki türleri, bitki yoğunluğu, gelgit hareketleri, nehirlerden gelen sediment girişlerinden, birincil üretimden kaynaklı toplam organik madde girişinden etkilenebilir [7].

Sulak alanlarda biriken sedimentler ortamın ekosistemi hakkında önemli bilgiler vermektedir. Sucul ortamların çevresindeki ve drenaj alanındaki doğal ve antropojenik faktörler sediment üzerinde doğrudan ya da dolaylı olarak etki yapmaktadırlar [61].

3.3.1. Sulak Alanlarda Sedimentasyon Hızının Ölçümü

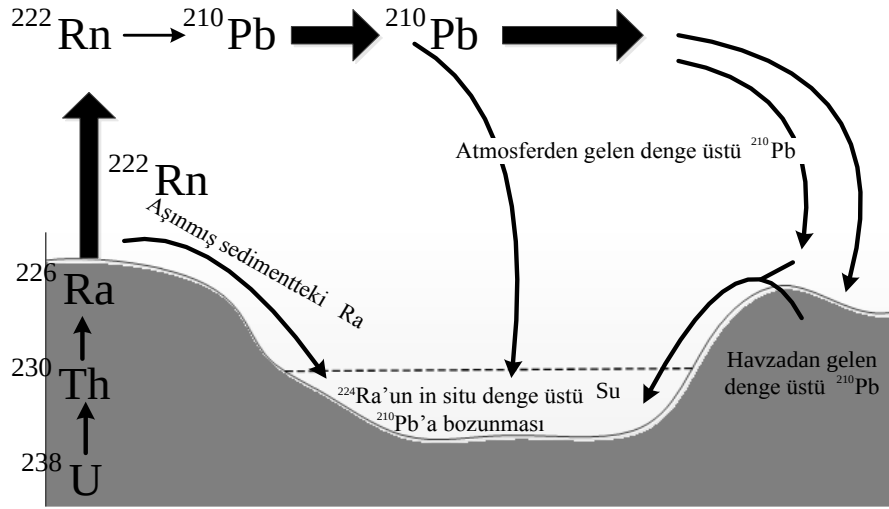
Sulak alanlarda sedimentasyon ve birikim hızının ölçülmesinde birçok yöntem kullanılır. Kullanılan yöntemler içinde nükleer teknikler son dönemlerde önemli gelişmeler kaydetmiştir. Bunların içinde radyometrik tarihlendirme teknikleri sediment birikim hızının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Radyoaktif iz metallere kurşunun doğal radyoizotopu ^{210}Pb yakın geçmişteki olayları tarihlendirme çalışmalarında altmışların başından beri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [15].

Kurşun periyodik cetvelin IVA grubunda yer alan radyoaktif bir elementtir. Kurşunun atom sayısı 82, kaynama noktası 1740°C ve erime noktası 327.5°C 'dir. Kurşunun izotopları içinde 210 izotopu doğal olarak bulunan, saatten daha uzun süre kararlı kalabilen tek radyoaktif izotoptur. Doğal ^{238}U serisindeki ^{210}Pb , kirlilik envanterinin çıkarılmasında yaygın olarak kullanılan bir radyonükliddir ve toprakta doğal olarak bulunur [62]. ^{210}Pb yüksek intensiteli ve düşük enerjili bir beta (0.015 MeV , 0.061 MeV) ve gama (0.47 MeV) yayınlayıcısıdır. Atmosferdeki radyoaktif kurşunun en önemli kaynağı, ^{222}Rn 'un bozunumudur (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Uranyum bozunma serisi

Radonun yayılımı karmaşık bir şekilde toprağın tipine, geçirgenliğine, nem içeriğine, yağış miktarına, buz veya kar ile kaplanış süresine, atmosferik basınç veya rüzgara ve atmosferdeki termal dengeye bağlı olarak değişim gösterir. Radonun yayılım hızı bitkiler tarafından da artırılabilir. Bu sebeple dünyanın pek çok alanında rapor edilen ortalamalar da çeşitlilik göstermektedir. ^{222}Rn 'ın havada ürünlerinin yaklaşık % 85'ini $0.3\text{ }\mu\text{m}$ veya daha küçük çaplı partiküllere bıraktığı tahmin edilmektedir. Atmosferik ^{222}Rn 'nin kaynağı toprakta ve deniz suyunda ^{226}Ra 'nın radyoaktif bozunumudur (Şekil 3.1) [46].



Şekil 3.2 ^{210}Pb izotopunun sucul ortamdaki potansiyel kaynakları

^{210}Pb atmosferde oluştuktan sonra inorganik taneciklere tutunur ve dolayısıyla ^{210}Pb 'un sucul ortamdaki davranışı, kil parçacıkları gibi alüminyumlu silikat mineralleri ve su kolonundaki rüzgarla oluşup taşınan tozlara bağlıdır.

^{222}Rn kayaların yüzeyinden atmosfere kaçar, 3.8 günlük yarı ömrüyle burada bozunur. Sedimentte biriktiği yer yüzeyine birkaç hafta içinde kuru ya da yağ çökeltme ile geri döner. Sediment üzerinde biriken ^{210}Pb 'a denge üstü kurşun denir. Sediment bünyesindeki ^{226}Ra 'ya eşdeğer ve çökeltme ile ilgisi olmayan ^{210}Pb 'a dengedeki kurşun denir.

Nehirler, göller, bataklıklar, kutup buzulları, okyanusların üst tabakaları gibi yüzeysel sularda denge üstü ^{210}Pb kaynağı doğrudan atmosferik çökeltmedir. ^{210}Pb 'un küresel dağılımında en büyük katkı troposferden gelmektedir. Daha küçük katkılar stratosfer tabakasından gelmektedir. Göl ve deniz ortamı için bu kaynakların dışında yakın çevredeki drenaj alanları, fiziksel ve kimyasal erozyonlar atmosferik kaynaklı olmayan katkılardır. Bu ^{210}Pb katkılarının oranı ve büyüklüğü yakın çevredeki drenaj alanlarında fiziksel, kimyasal ve biyolojik aktivitelere bağlı olarak konum ve zamanda farklılık göstermektedir. Fiziksel ve kimyasal erozyon ^{210}Pb 'un çevresel döngüsünde özellikle de hidrolojik döngünün devam ettiği alanlarda başlıca önemli etkindir [63].

Göl ya da deniz sedimentlerinde sediment profili boyunca ^{210}Pb 'un özgün aktivitesinin ölçümleri son 150 yıl içindeki birbirini izleyen sediment oluşumlarının tarihlenmesine izin vermektedir. Böylece doğal çevrenin insan aktivitelerinden etkilendiği bir süreçte sediment bileşimindeki tarihsel olaylara erişim mümkün olmaktadır. Atmosferik ^{210}Pb akısının ölçümü yağmur suyundan yapılabileceği gibi erozyona veya herhangi bir şekilde taşınmaya uğramamış alanlardan örneklenen toprak korlarında dengenin üzerindeki ^{210}Pb aktivitesinin ölçümü ile dolaylı olarak da yapılabilmektedir. Sediment örneğindeki kurşun aktivitesini ölçebilmek için üç alternatif ölçüm tekniği bulunmaktadır.

- Beta Spektrometresi (^{210}Bi Ölçümü)
- Gama Spektrometresi (Direk olarak 46.5 keV fotonu yayan ^{210}Pb ölçülmesi)
- Alfa Spektrometresi (^{210}Po ölçümü) [64].

Appleby ve Oldfield 1978'de ^{210}Pb profillerinden sediment katmanlarının yaşının CRS modeli ile hesaplanmasını geliştirmiştir. Buna göre; sedimentteki t zamanında denge üstü (unsupported) ^{210}Pb başlangıç konsantrasyonu $C_0(t)$ ve kuru kütle sedimantasyon hızının $r(t)$ ($\text{g}/\text{cm}^2.\text{y}$) çarpımı sabittir [21].

$$C_0(t) * r(t) = \text{sabit}$$

(1)

CRS modelinde; ^{210}Pb sabit bir hızla zamana bağlı sedimentte birikmeye başlamıştır. Yüzeydeki sedimentte ^{210}Pb derişimleri ve sedimentte derinliğe bağlı ^{210}Pb akış hızı değişkendir. Bu sebeple sediment birikim hızı da her bir x derinliğinde farklıdır.

Appleby and Oldfield (1978) bu denklemden yola çıkarak x derinliğindeki sedimentin yaşı için aşağıdaki denklemi geliştirmişlerdir.

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{A_0}{A_x}\right) \quad (2)$$

A_0 ; Sediment kolonundaki toplam denge üstü ^{210}Pb aktivitesi

A_x ; Sediment kolonunda x derinliği altındaki toplam denge üstü ^{210}Pb aktivitesi

3.4. Sulak Alanlarda Karbon Birikimi

Canlı dokularını meydana getiren bileşikleri oluşturan karbon (C) atomları tüm yaşamın temel taşıdır. Küresel olarak karbon farklı kaynaklarda bulunmaktadır. Doğal karbon kaynakları okyanuslar, fosil yakıtlar, karasal sistem ve atmosferdir. Karasal sistemde karbon, sedimentlerde, bataklıklarda, sulak alanlarda, ormanlık alanlarda, otlaklarda ve tarım alanlarında ayrıştırılmaktadır. Karasal olarak, karbon toprak ve bitkilerde birirmektedir. Biyosferdeki en büyük karasal karbon havuzu topraktır, bitkiye göre 1.5 - 3 katına kadar karbon depolayabilmektedir [65]. Bitkiler karbonu, yaşadıkları sürede canlı biyokütle olarak depolarlar. Öldükleri zaman biyokütle besin zincirine katılır ve toprak karbonu olarak birikir. Karbon birikimi atmosferden karbonun uzaklaştırılarak biyosferde depolanmasıdır [66]. Havada bulunan CO₂ formundaki karbonun toprak karbonuna dönüşüm süreci, karbonun karasal biyosferde, okyanuslarda ve yeraltında uzun dönem depolanmasıdır ve atmosferdeki CO₂ derişimini azaltır [67]. Karbonun farklı ekosistem tiplerinde ayrıştırılması önemli ölçüde değişiklik gösterebilir. Aşağıdaki tabloda yeryüzündeki doğal kaynaklarda karbonun birikim miktarları görülmektedir.

Çizelge 3.1 Farklı kaynaklarda ortalama karbon birikimi [68]

Ekosistem Tipleri	Bitkiler*	Toprak*	Toplam*
Tropikal Ormanlar	133	136	269
Ormanlar	62	106	168
Kuzey Ormanları	72	378	449
Tundralar	7	141	148
Tarım alanları	2	89	91
Tropik Ovalar	32	128	160
Otlaklar	7	259	267
Çöl / Yarı çöl	2	47	49
Sulak Alanlar	47	709	756

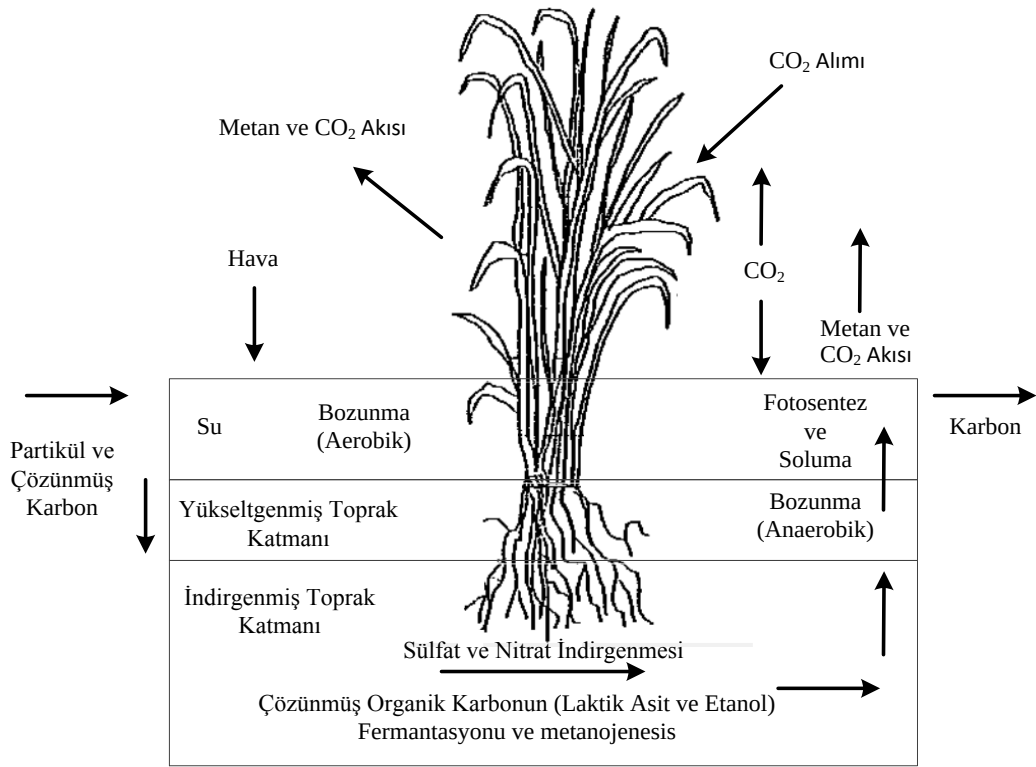
*(Ton/ha)

Sulak alanlar küresel karbon döngüsünde doğal karbon yutakları olarak önemli rol oynayan büyük karbon havuzlarıdır [39]. Sulak alanlar, insan kaynaklı oluşan sera gazı emisyonlarının hem karbon ayrıştırma hızı hem de sera gazları

retimine etki eden peyzaj düzenlemesine baēlı olarak dengelenmesini saēlar [69]. Sulak alanlardaki karbon miktarı ve atmosfer ile sulak alan arasındaki sera gazlarının deēiřimi insan aktiviteleri ile deēiřebilir [70].

Sulak alanlar önemli bir karbon yutaēıdırlar ve yeryüzündeki karbon havuzlarının yönetilmesinde ve etki deēerlendirilmesinde en önemli etkendirler. 1 m sulak alan toprak derinliēinde tahmin edilen toprak organik karbon havuzu miktarı 1550 Pg (Petagram = 10^{15} g)'dır [71]. Sulak alanlar kara ve tatlısu yüzey alanlarının % 6-8'ini kaplamasına raēmen bu karbon havuzunun 3 te 1'i kadar (450 Pg) karbonu tutmaktadır [53, 70]. Sonuē olarak, sulak alanlar en büyük biyolojik karbon havuzlarıdır ve küresel karbon döngüsünde karar verici rol oynarlar [72, 73].

Sulak alanlarda karbon döngüsünü etkileyen önemli faktörler girdi (fotosentez süreci, algler, makrofitler, hayvan biyokütlesi, su ve toprak erozyonu gibi organik ve inorganik maddeler) ēıktı (karbon dioksit, metan, nitröz oksit, katı olarak bitkilerin hasat edilmesi, yzeyssel ve yeraltı sularına akışla geēen ēznmř organik ve inorganik karbon) ve birikim kapasitesidir [4].



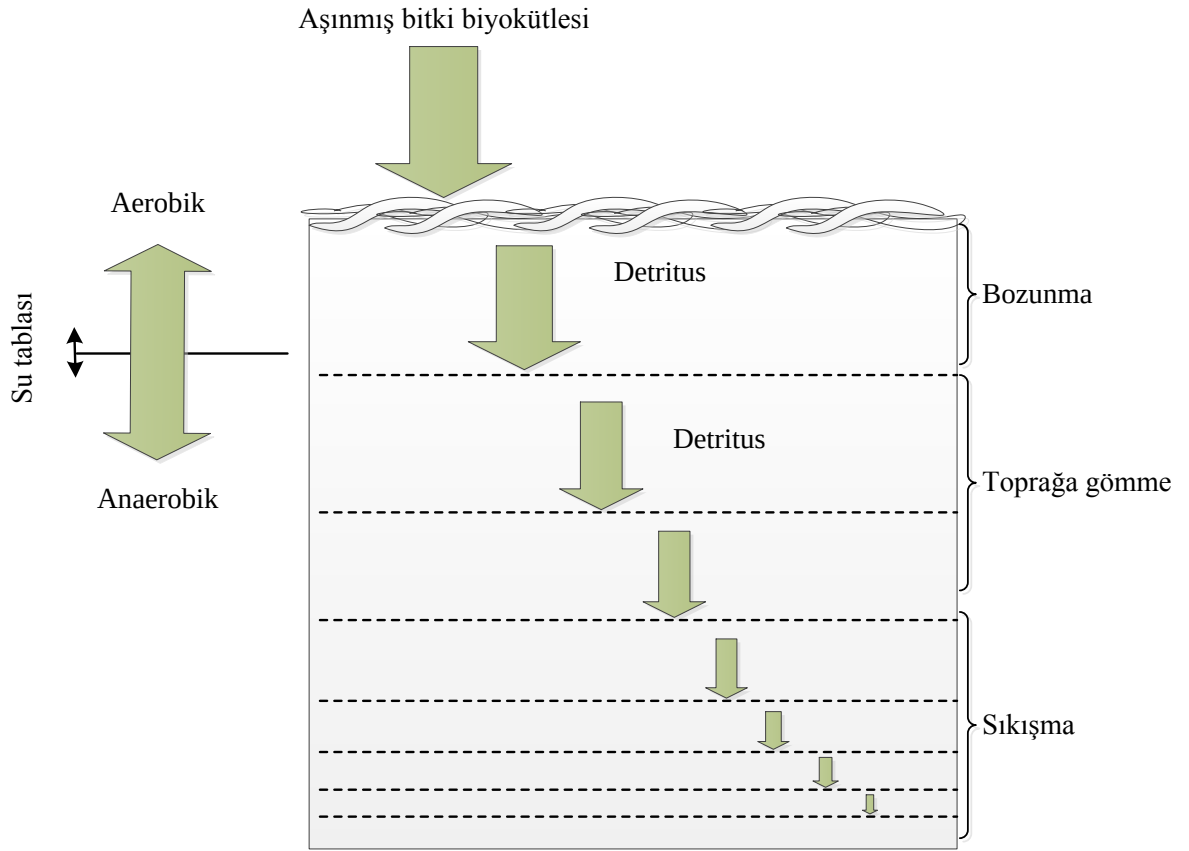
Şekil 3.3 Sulak alanlarda karbon döngüsünün ana componentleri [4, 7, 74-76]

Sulak alanlardaki karbonun birikimi ve karbon girdisi (organik madde üretimi ve karbon iç akışları gibi) ve çıktısı (bozunma, metan oluşumu gibi) arasındaki denge birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörler;

- Sulak alanın konumu ve topografyası
- Sulak alanın bulunduğu bölgedeki su rejimi
- Varolan bitkilerin türleri
- Bölgenin iklimi
- Toprak nem içeriği
- pH ve tuzluluk
- Sulak alanın morfolojisidir [77].

Sulak alan sedimentlerinde karbon birikimi uzun dönemde gerçekleşmektedir. Sulak alanlardaki kısa dönemli birikim ortamdaki biyokütle (bitkiler, hayvanlar, bakteriler ve mantarlar) ve yüzey ve yeraltı suyundaki çözünmüş bileşiklerden olmaktadır. Karbon birikimini etkileyen faktörler çok sayıdadır ve bu faktörleri sulak alan tipi, bitki zonu, sediment derinliği, kuzey-

güney enlemsel gradyan, tuzluluk, iklim döngüleri, sıcaklık, hidroloji ve yakın bölgedeki alan kullanımları olarak sıralayabiliriz [78].



Şekil 3.4 Sulak alanlarda karbonun birikimi

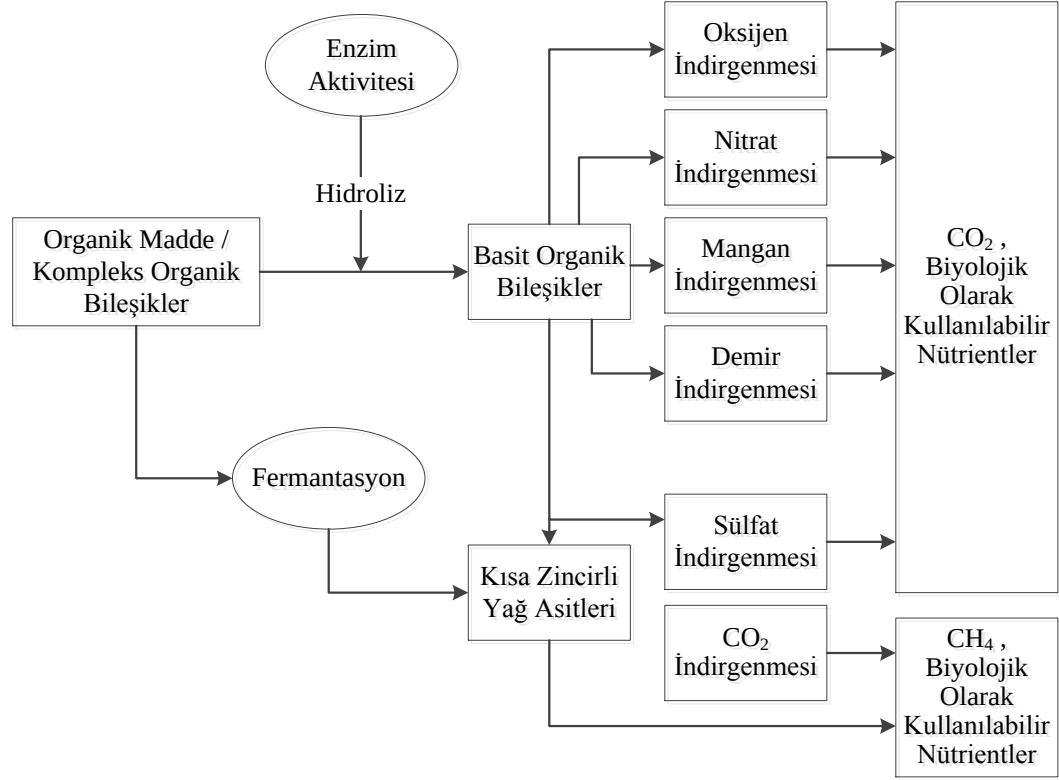
Sulak alanların farklı zonlarında ki çeşitli reaksiyonlarda bulunan ve kullanılan karbon süreçleri kompleks bir yapıya sahiptir. Toprağa giren karbon miktarı ve kalitesi karbon birikimi ve ayrılmasını (sequestration) etkiler [79].

Sulak alanlardaki ana süreçler aerobik zonda soluma, anaerobik zonda fermentasyon, metanojenesis, denitrifikasyon, sülfat ve demir indirgeme süreçleridir. Aerobik koşullar altında sadece CO₂ oluşurken anaerobik koşullarda CO₂ ve metan oluşmaktadır. Aynı zamanda anoksik hale dönüşen toprak ve sedimentler metan üretmektedir [76].

Metanın topraktan yayılmasında ve serbest kalmasında etkileyen en önemli parametreler toprağın sıcaklığı ve su seviyesidir. Doğal sulak alanlar yaklaşık

olarak atmosfere yılda $1.45 \cdot 10^{11}$ kg $\text{CH}_4\text{-C}$ yaymaktadır ve bu miktar antropojenik ve doğal kaynaklardan yayılan toplam emisyonun % 25'idir [76].

Sulak alan topraklarında organik maddenin birikmesi olduğu yerde ve dışarıda üretilen organik madde olarak girdilerin, bozunma ve erozyon olarak çıktılarının oranına bağlıdır [39, 80].



Şekil 3.5 Sulak alan ekosistemlerindeki toprak organik maddesinin parçalanması

Sulak alan topraklarında karbon birikimini artıran iki önemli faktör durgun su altında oluşan anaerobik şartlar ve sulak alan ekosistemlerinin üretkenliğidir [39]. Sulak alanlardaki üretkenlik hidroloji, bölgenin peyzaj yapısı, bitkiler, toplum faaliyetleri ve iklimden etkilenir [81]. Sulak alanların oldukça yüksek oranda üretken olmasının sebebi çoğu sulak alanın üzerindeki su tablasının mevsimsel olmasıdır. Sulak alanlardaki bozunma aerobik ve anaerobik tabakalarda gerçekleşir ve oldukça karmaşık bir süreçtir [39]. Bozunmanın hızı, iklimin (sıcaklık ve nem içeriği ile artan mikrobiyal aktivite) ve sisteme giren organik maddenin kalitesinin bir fonksiyonudur [4]. Anaerobik şartlar altında organik maddenin bozunması

genellikle tamamlanamaz, bunun sebebi bitki artıklarının yetersiz oksijen koşullarında tam olarak dönüşümünün gerçekleşmemesidir. Akışla gelen bitkiler, sulak alan biyokütlesi ve sulak alanın sınırlarında yetişen bitkilerle beraber sulak alana dışarıdan gelen (allokton) ve sulak alanın üretkenliği ile oluşan (otokton) organik maddeler ayrışmanın farklı kademelerinde birikirler [39, 53, 82]. Bu özellikleri sulak alanları, toprak karbonunu biriktiren en etkin ekosistemlerden birisi yapar [37].

3.4.1. Sulak Alan Topraklarında Karbon Birikimini Etkileyen Faktörler

Topraktaki organik maddenin kimyasal kompozisyonu labile (biyolojik olarak bozunabilir) ve resistant (dirençli) kısım olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Biyolojik olarak bozunabilir kısım çabuk bozunan taze bitkilerden oluşurken, dirençli kısım uzun zamandır toprakta kalan humik maddelerden oluşmaktadır. Organik maddenin dirençli kısmı toprak katmanlarının daha derinlerinde birikmekte, bozunabilir bileşikler ise toprağın yüzeyinde birkaç ay içinde bozunmaktadır [37, 83, 84].

Organik maddenin kimyasal kompozisyonu ortamda üretilen bitki türlerine bağlıdır. Eğer bitkiler odunsu türlerden oluşmakta ise daha karmaşık yapılara (lignin ve selüloz) sahiptir bu sebeple mikroorganizmaların bozundurma zor olduğundan uzun dönemli birikim gerçekleşir [37].

Mevsimsel sulak alanlarda aerobik şartların değişmesinden dolayı bitkilerin bozunması daha hızlı gerçekleşmektedir. Bu tip sulak alan topraklarındaki karbon birikim miktarı oksik ve anoksik toprak rejim değişimlerinden dolayı yüksek alan topraklarına göre önemli ölçüde daha yüksek olabilir [85].

Yapılan çalışmalarda topraktaki karbon havuzları ile iklim arasında çok güçlü bir korelasyon olduğu ve artan sıcaklıklarla beraber organik karbon içeriğinin azaldığı görülmüştür. Bununla birlikte, sıcaklıktaki her 10 °C artış bozunma hızını (mikrobiyal soluma) ikiye katlamaktadır [37, 53].

3.5. Sulak Alanlarda Azot Birikimi

Göllerin besin düzeylerinin belirlenmesinde ve ötrofikasyonun kontrolünde sucul ekosisteme giren azot türleri ve miktarları önemli bir yer tutmaktadır [86]. Azot alıcı ortamlar için ana kirlilik kaynağı olarak bilinmektedir. Yüzeysel sularda fazla niktarda bulunan azot (N), ötrofikasyona, oksijen azalmasına ve ekolojik habitatın bozulmasına yol açar [87]. Sulak alanlardaki mineralizasyon, immobilizasyon, nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçleri zamansal ve mekansal olarak değişken olduğundan dolayı azot, karakterize edilmesi karmaşık olan bir elementtir [88, 89]. Sulak alanlarda bulunan bileşik azot türleri amonyum, nitrat, nitrit, çözünmüş ve partikül organik azottur (Çizelge 3.2). Bununla birlikte, sedimentte en fazla miktarda biriken organik azottur. Sulak alanlardaki azot, otokton ve aşınmış maddelerin etkisi, bozunma ve sedimentasyon hızından etkilenen alloktan maddelerden kaynaklanabilir [89].

Çizelge 3.2 Sulak alanlarda tarımsal akışla ilişkili olan azot türleri [14, 89].

Azot Türleri	Özelliği	Derişim (mg/L)
Amonyum (NH_4^+ - N)	İnorganik	0-5
Nitrat (NO_3^- - N)	İnorganik	0-4
Nitrit (NO_2^- - N)	İnorganik	0-0,01
Çözünmüş ve partikül N	Organik	0-2,5

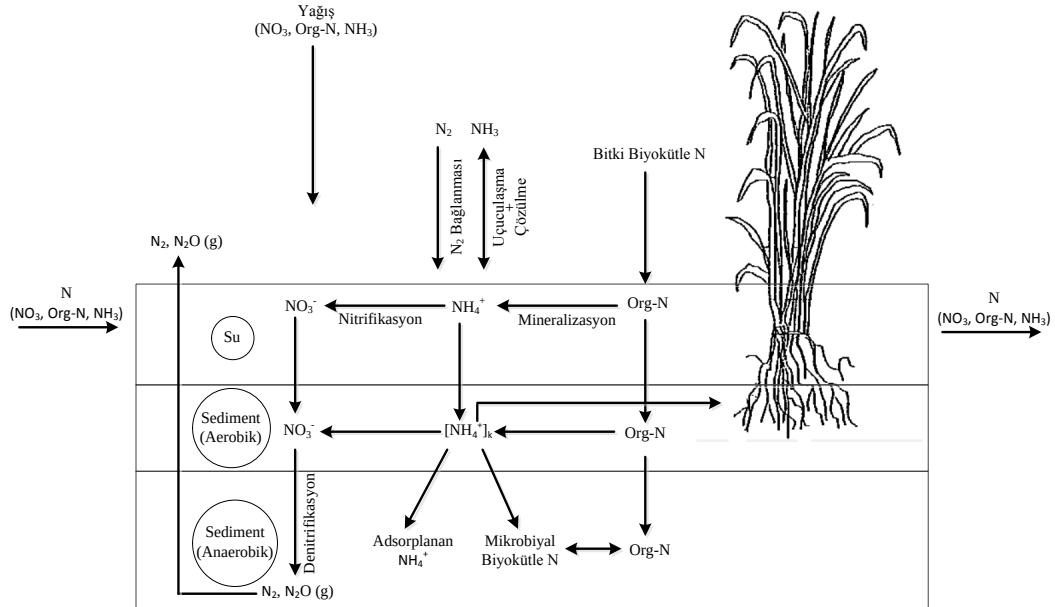
İmmobilizasyon, mineralizasyon, nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçlerinin sonuçlarına göre her azot türünün derişimi değişebilir [89]. Bu süreçler çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 Sulak alan sistemlerinde meydana gelen azot süreçleri [90].

Azot Süreçleri	Tanımlar
İmmobilizasyon	İnorganik azot türlerinin organik türlere mikrobiyal dönüşümü
Mineralizasyon	Organik azot türlerinin inorganik türlere mikrobiyal dönüşümü
Nitrifikasyon	İndirgenmiş organik ve inorganik azotun oksijen varlığında oksidasyona uğraması (Örneğin; amonyağın nitrit ve nitrata dönüşümü)
Denitrifikasyon	Anoksik koşullarda nitrit ve nitratin gaz formundaki azot veya nitroz okside biyokimyasal ve mikrobiyal indirgenmesi

Sulak alanlara azot organik ve inorganik olarak iki formda girebilir [91]. Gübre uygulamalarının sonucunda tarımsal akıştan gelen en önemli kirleticiler

nitrat ve amonyum olarak inorganik formda bulunurlar. Aşağıdaki şemada sulak alanlarda gerçekleşen azot döngüsü görülmektedir.



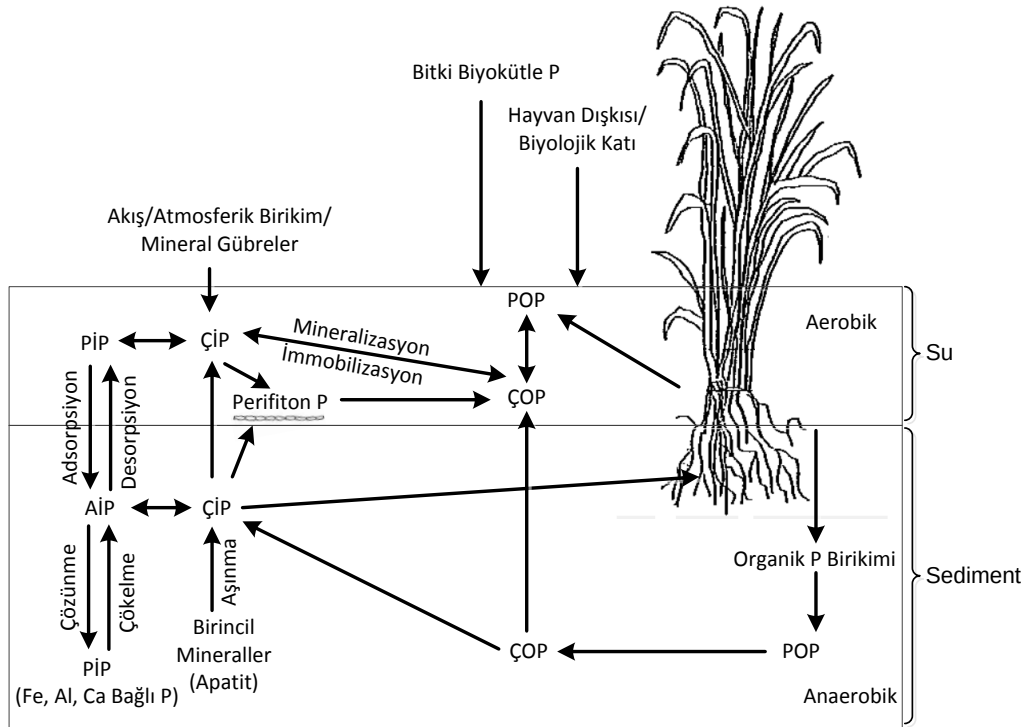
Şekil 3.6 Sulak alanlarda topraklarındaki aerobik-anaerobik azot transformasyonunu tanımlayan sulak alan azot döngüsü [4, 7, 75]

Tarımsal havzalardaki sulak alanlara azot girişleri tarlalardan yüzeysel akışla olabileceği gibi, biyolojik bağlanma, ıslak ve kuru amosferik çökeltme ile de olabilir. Organik azot ve amonyumun miktarı, organik madde mineralizasyon hızına, toprak özelliklerine ve tarım uygulama farklılıklarına göre değişkenlik gösterir.

Sulak alanlarda en önemli azot dönüşüm mekanizması oksijen yokluğunda nitratın N_2O ve N_2 'ye mikrobiyolojik olarak dönüşümü olan denitrifikasyon sürecidir [46]. Diğer azot dönüşüm süreçleri, nitrifikasyon, bitki asimilasyonu, partikül azotun (organik ve partiküllere adsorblanmış N) sedimantasyonu, derinliğe bağlı gömülmesi ve amonyağın uçuculaşmasıdır. Sucul ortamlarda su seviyesi eğer yüksekse, denitrifikasyon hızı daha yüksektir [92]. Sığ ve sulama mevsimi dışında kuruyan sulak alanlarda, denitrifikasyon hızı arttığından dolayı sera gazlarından olan ve karbondioksit göre daha yüksek potansiyele sahip olan nitroz oksit (N_2O) üretimi artmaktadır [7, 48].

3.6. Sulak Alanlarda Fosfor Birikimi

Sulak alanlardaki fosfor (P) döngüsü oldukça karmaşıktır. Limnolojik çalışmalarda sucul ekosistemin ana unsurlarından biri olan sedimentler, içsel fosfor yükü oluşturarak sucul ortamın besin düzeylerini doğrudan etkileyebilmektedir. Son yıllarda gübreleme uygulamalarının artışı ile sucul ortamlara tarımsal sulama ve yağış sırasında erozyon ile yüksek fosfor girişi olmaktadır. Sulak alanlar, tarımsal akış kaynaklı fosfor gideriminde en iyi yönetim uygulaması olarak kabul edilmektedir [15]. Sulak alanlarda bulunan makrofitler gibi köklü bitkiler azot ve fosforun temel kaynaklarıdır ve bozulmaları sonucunda sedimentteki fosfor depolanmasını artırır. Sedimentler sulak alanlardaki fosfor döngüsünde hem fosfor yutağı hem de fosfor kaynağı olarak önemli rol oynarlar. Biyosferde fosfor, bitki ve hayvanların hücre ve dokularında bulunan önemli bir elementtir [4]. Şekil 3.7’de sulak alanlarda gerçekleşen fosfor döngüsünün şematik gösterimi görülmektedir.



Şekil 3.7 Sulak alanlarda fosfor döngüsü [4, 7] (AİP: Adsorplanan İnorganik P, ÇİP: Çözünmüş İnorganik P, ÇOP: Çözünmüş Organik P, PİP: Partikül İnorganik P, POP: Partikül Organik P)

Sulak alan toprak ve sedimentlerinde fosfor organik ve inorganik türde hem çözülebilir hemde çözünmez kompleks bileşikler gibi değişik formlarda bulunabilir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4 Sulak alan sistemlerinde bulunan fosfor türleri

Fosfor Formları	Türleri
Çözünmüş İnorganik Fosfor	H_2PO_4 ve HPO_4^-
Partikül İnorganik Fosfor	Metal hidroksitler (Al, Fe gibi)
Çözünmüş ve Partikül Organik Fosfor	Nükleik asitler, fosfolipidler

Su altındaki topraklarda oksijen yetersizliği ve indirgenme - yükseltgenme tepkimeleri sonucunda bitki nütrientlerinin kullanılabilirliği değişiklik göstermektedir. Genellikle fosfor ve bileşikleri indirgenmiş durumlarda daha kullanılabilir formlardadır [93]. Fosfor, azot gibi atmosfere salınmaz, sulak alanlarda depolabilir ya da drenaj suları ile hareket edebilir [91]. Ek olarak, sulak alanlar inorganik fosfor formlarını organik formlara (bitkisel ve mikrobiyal asimilasyon) dönüştürebilirler [94].

Sulak alanlarda fosfor birikimi sedimantasyon, filtrasyon, kimyasal sorpsiyon ve çökeltme, redoks süreçleri, mikrobiyal etkileşimler ve bitkilerin alımı gibi fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerle düzenlenir. En önemli birikim mekanizmaları biyokütlede birikim (biyolojik), toprağın sorpsiyonu (kimyasal), yeni mineral ve organik toprağın oluşumu (fiziksel) ve birikmesidir. Sulak alanlara giren fosfor, su kolonunda hızlıca bakteri, perifiton ve sucul bitkiler yardımıyla alınır. Buna rağmen, fosfor radyoizotop çalışmalarına göre sulak alan canlı yaşamı fosfor için kısa dönemli yutak olurken, sulak alan toprakları uzun dönemli yutak olmaktadır [95].

Sulak alan bitkileri ve mikroorganizmalar bozunduğunda fosforun büyük bir kısmı mineralize olur, küçük bir kısmı ise dirençli organik partiküller halinde toprakta birikir. Uzun dönemli fosfor birikim mekanizmalarından en önemlisi partiküllerin kimyasal olarak fosforu adsorplaması ve çökeltmedir. Uzun dönemli

fosfor birikiminin devam etmesi dış kaynaklı (egzojen) mineral, organik sedimentler ve içsel (endojen) organik maddenin birkimi ile olmaktadır [48].

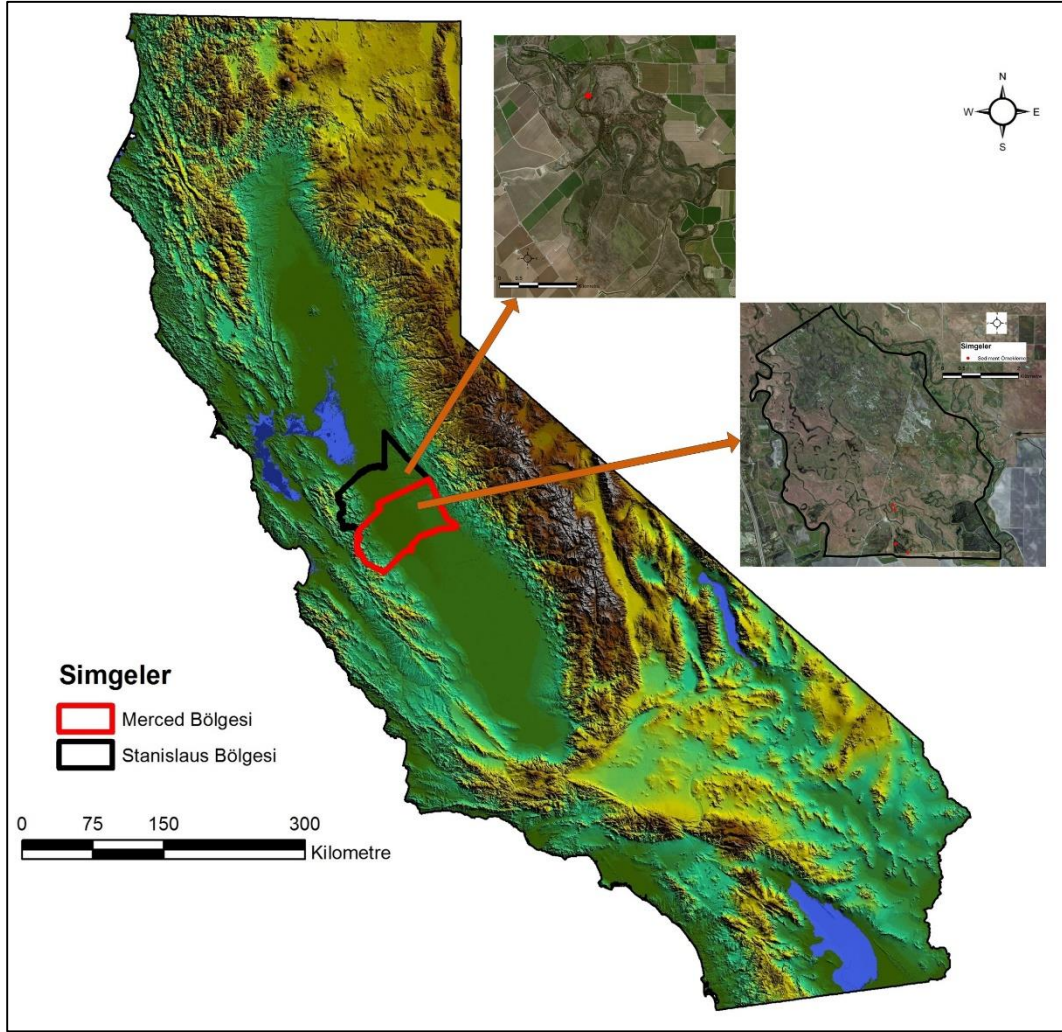
4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Çalışma Alanı

Kaliforniya eyaletinin Merkez Vadi (Central Valley) olarak adlandırılan kısmında 58,000 km²'lik alanda bulunan sulak alanlar 1900'lerden itibaren yok olmaya başlamıştır. Habitatların ve ekosistem servislerinin yeniden restore edilmesi için çaba harcanmaktadır. Bu sulak alanlardan çoğu geçici sulak alan olarak yönetilmektedir.

Kaliforniya eyaleti Amerika Birleşik Devletleri'nin batı yakasında yer alır ve ülkenin en kalabalık eyaletidir. Eyaletin toplam alanı 403,932 km²'dir ve % 25'lik kısmında tarım yapılmaktadır. Kaliforniya'da iklimin ılıman olup Akdeniz ikliminin olması, eyaletin verimli ve farklı arazi kaynaklarına sahip olmasından dolayı yıl boyunca çok çeşitli ürünler yetiştirilmektedir.

Sediment örnekleri iki farklı alandan toplanmıştır. Bu çalışma alanları Kaliforniya eyaleti Stanislaus bölgesinde bulunan San Joaquin Nehri Ulusal Yaban Hayatı Koruma Alanı (SJNUYKA) ve Merced bölgesinde bulunan San Luis Ulusal Yaban Hayatı Koruma Alanı (SLUYKA)'dır. İki Ulusal Yaban Hayatı Koruma Alanı da ABD Balık ve Yaban Hayatı Servisinin (US Fish and Wildlife Service) Ulusal Yaban Hayatı koruma sistemindeki 500 koruma alanlarındandır. Ulusal yaban hayatı koruma sisteminin görevi bugünkü ve gelecek nesiller için, balık, yaban hayatı ve bitki kaynaklarının korunması ve yönetilmesinde arazi ve su kaynakları arasındaki ilişkiyi korumaktır. Ulusal yaban hayatı koruma alanları Kaliforniya'nın merkez vadisinde bulunan hem sulak hem de yüksek alanda yaşayan yaban hayatı için benzersiz bir sığınak sağlar. Şekil 4.1'de Kaliforniya eyaletinin topografik haritası ve çalışma alanları görülmektedir.

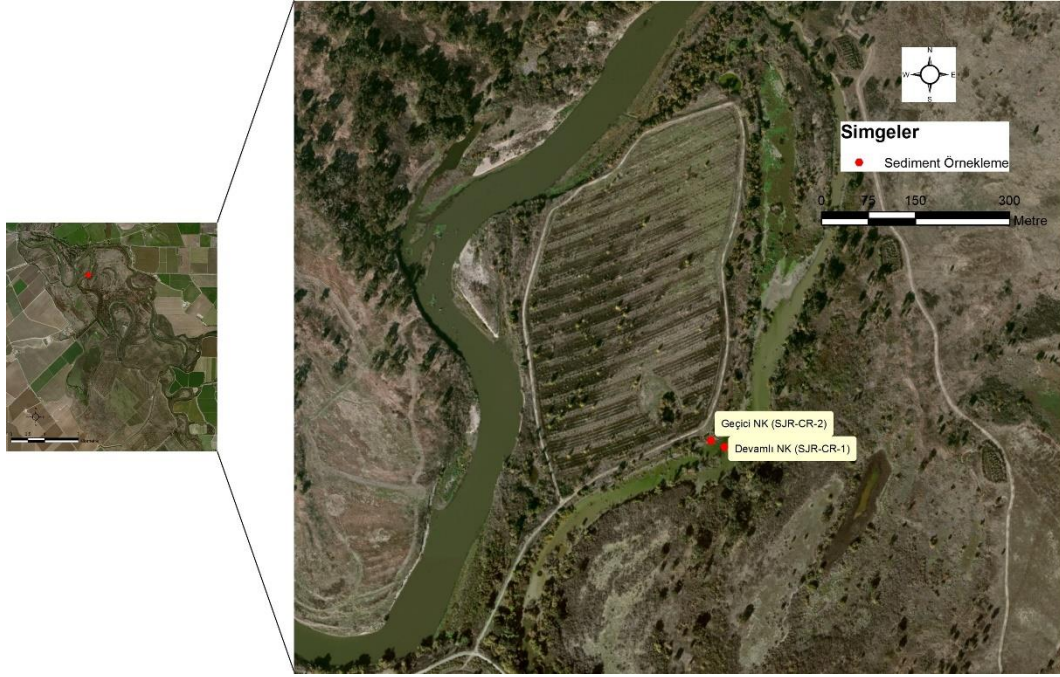


Şekil 4.1 Amerika Birleşik Devletleri Kaliforniya Eyaleti çalışma alanı (Stanislaus Bölgesi ve Merced Bölgesi)

San Joaquin Nehri Ulusal Yaban Hayatı Koruma Alanı (SJNUYKA) San Joaquin nehrinin batısında bulunmaktadır ve sulama mevsiminde (Nisan – Ekim) Hospital ve Ingram dere havzalarından değişken debide tarımsal akış almaktadır. 2006 yılında San Joaquin nehrinden gelen akışla çıkış kısmında oluşan kum yığını ile doğal bir baraj olmuştur. ABD Balık ve Yaban Hayatı Koruma Servisi tarafından sediment ve nütrient gideriminde tampon bölge ve nehir kıyısı (riparian) alan olarak yönetilmektedir. SJNUYKA çalışma alanı 270,010 m²'lik alana sahip ve ortalama derinliği 0,6 m ve açık su alanı 51,000 m² olan bir nehir kıyısı alanıdır. Drenaj alanı 38,45 km²'dir. Şekil 4.2'de San Joaquin Ulusal Yaban

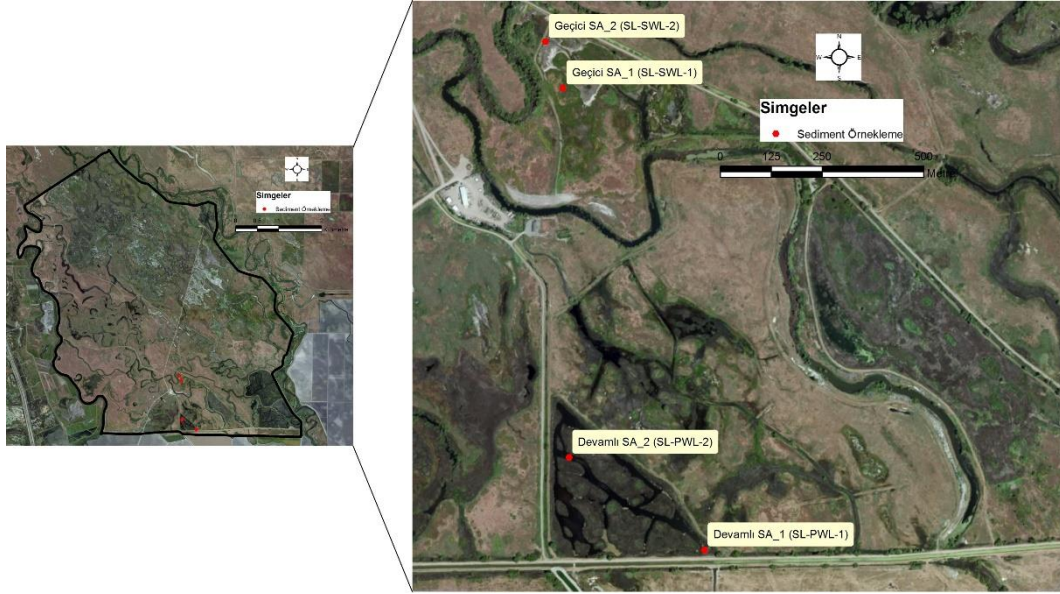
Hayatı Koruma Bölgesindeki nehir kıyısı alanı ve örnekleme noktaları görülmektedir.

Bu çalışma alanındaki baskın bitki türleri *Salix exigua* and *Salix goodingii* gibi yerli söğütler, *Epilobium brachycarpum* gibi yıllık yakı otu ve *Cynodon dactylon* bermuda çimenidir [96, 97].



Şekil 4.2 San Joaquin Ulusal Yaban Hayatı Koruma Bölgesindeki nehir kıyısı alanı

San Luis Nehri Ulusal Yaban Hayatı Koruma Alanı (SLUYKA) yaklaşık olarak 110 km²'yi kapsayan sulak alan, nehir kıyısı ormanları ve otlak alanlarından oluşmaktadır ve San Joaquin vadisinde bulunmaktadır. Sulak alanlar Pasifik göç yolu üzerinde bulunmaktadır, yerli ve göçmen kuş popülasyonları için önemli yiyecek ve habitat kaynağıdır. San Luis Ulusal yaban hayatı koruma alanındaki örneklemede toplanan bitkilerin analizi sonucunda devamlı sulak alanda *Schoenoplectus Acutus*(variety *occidentalis*), geçici sulak alanda, *Eleocharis Macrostachya*, *Xanthium Strumarium*, *Bolboschoenus Glaucus*, *Eleocharis Macrostachya*, *Lythrum Californicum*, *Lemna Minuta*, *Zannichellia Palustris* bitki türleri bulunmuştur. Şekil 4.3'de San Luis Ulusal Yaban Hayatı Koruma Bölgesindeki devamlı, geçici sulak alan ve örnekleme noktaları görülmektedir.



Şekil 4.3 San Luis Ulusal Yaban Hayatı Koruma Alanı Devamlı ve Geçici Sulak Alan

4.2. Saha Çalışması

4.2.1. Sediment Örnekleme

Bu çalışmada arazi örneklemesi San Joaquin Ulusal Yaban Hayatı Koruma Bölgesi'ndeki nehir kıyısı alanından 17 Kasım 2011 tarihinde, San Luis Ulusal Yaban Hayatı Koruma Alanı'ndaki devamlı ve geçici sulak alandan 10 Nisan 2012 ve 30 Mayıs 2012 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Örnekleme noktalarının koordinatları Garmin 188C GPS (Olathe, KS) ile ölçülmüştür.

Örnekleme çalışmalarında nehir kıyısı devamlı ve geçici olarak su altında bulunan alandan 2 sediment kor numunesi, devamlı sulak alanın giriş ve çıkışından 2 sediment kor numunesi ve geçici sulak alandan 2 sediment kor numunesi olmak üzere toplamda 6 sediment kor numunesi toplanmıştır. Sediment korları AMS çok aşamalı çamur ve sediment örnekleme kiti kullanılarak alınmıştır (Şekil 4.4). Çalışma alanlarında yapılan örneklemelemlerden bazı resimler Şekil 4.5'de görülmektedir.



Şekil 4.4 Sediment Örneklemeye Kullanılan örnekleyici (AMS Çok aşamalı çamur ve sediment örneklem kiti (AMS, American Falls ID))



Şekil 4.5 Farklı Alanlardan Sediment Örneklemeye Kitini Kullanarak Sediment Örneklemeye

Sediment kolları alındıktan sonra 4°C’de ve aynı gün içinde laboratuvara getirilerek, analize kadar 4°C’de saklanmıştır. Nehir kıyısı alanı, devamlı ve geçici sulak alandan alınan sediment kollarının özellikleri Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3’de görülmektedir.

Çizelge 4.1 SJNUYKA alanından Kasım ayında alınan sediment korlarının özellikleri

Kor Adı	Derinlik, cm	Su Derinliği, m	Enlem	Boylam	Özellği
SJR_CR_1	70	0,6	-121.205404	37.630029	Sedimentin rengi siyah ve yapışkan özelliktedir ve devamlı olarak su altındadır.
SJR_CR_2	55	-	-121.205651	37.630219	Kıyıya yaklaşık olarak 2 m uzaklıktan alınmıştır ve geçici olarak su altındadır. Korun yaklaşık olarak ilk 10 cm'si koyu kahverengi renklidir, kalan kısım kumlu ve kahverengidir.

Çizelge 4.2 SLUYKA alanından Nisan ayında alınan sediment korlarının özellikleri

Kor Adı	Derinlik, cm	Su Derinliği, m	Enlem	Boylam	Özellği
SL_PWL_1	40	1	-120.47198	37.10242	Devamlı sulak alanın giriş kısmından (kıyıya çok yakın alan) botla alınmıştır. Siyah ve yapışkan yapıdadır.
SL_PWL_2	50	1	-120.47338	37.10316	Devamlı sulak alanın çıkış kısmından botla alınmıştır. İlk 10 cm'si siyah renklidir.

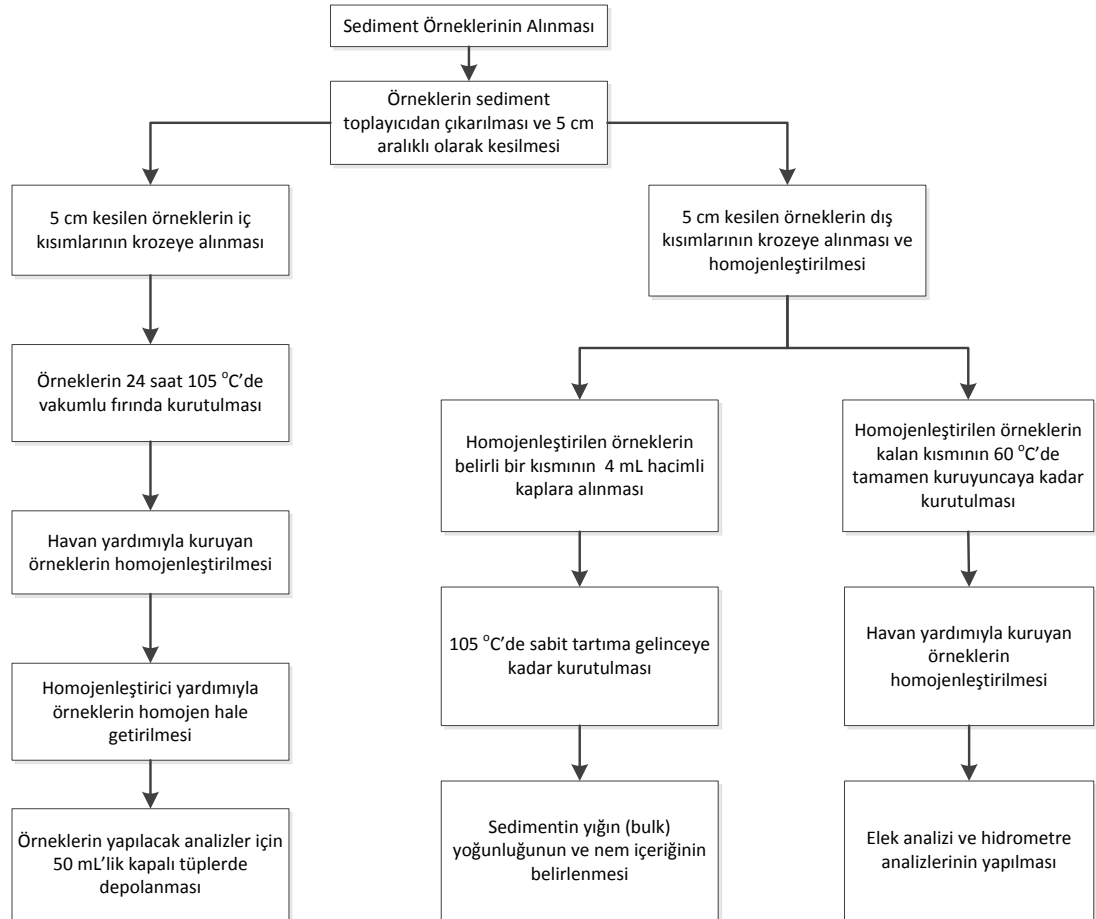
Çizelge 4.3 SLUYKA alanından Mayıs ayında alınan sediment korlarının özellikleri

Kor Adı	Derinlik, cm	Su Derinliği, m	Enlem	Boylam	Özellği
SL_SWL_1	60	-	-120.7933	37.18362	Geçici sulak alandan alınmıştır. Sulama mevsiminde yaklaşık olarak 1 m suyun altında kalmaktadır.
SL_SWL_2	65	-	-120.7934	37.18459	

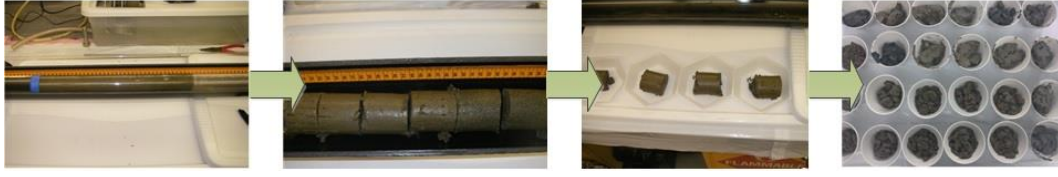
4.3. Deneysel Yöntemler

Sediment numunelerinin ön işlemleri, organik madde analizi, karbon azot ve fosfor analizleri ABD Kaliforniya eyaleti, Pasifik Üniversitesi, Mühendislik ve Bilgisayar Bilimleri Fakültesi, Ekoloji ve Çevre Araştırma Programı Laboratuvar'larında, fiziksel analizler aynı fakültenin Hidroloji Laboratuvarı'nda, izotopik ^{13}C analizleri Kaliforniya, Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

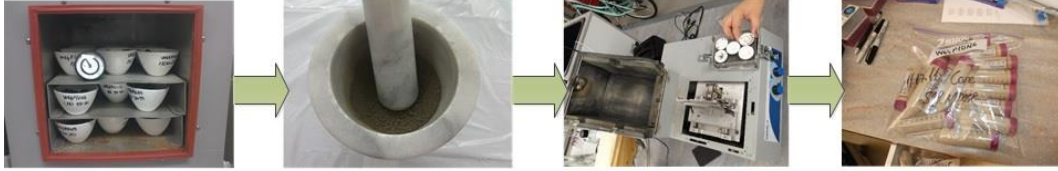
Alanlardan alınan numuneler laboratuvar ortamında ilk önce ön işlemlerden geçirilerek yapılacak analizlere hazır hale getirilmiştir. Sediment korlarına uygulanan ön işlemler Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8'de görülmektedir.



Şekil 4.6 Alınan sediment kor örneklerinin ön hazırlıkları



Şekil 4.7 Alınan sediment kor örneklerinin ön hazırlıkları



Şekil 4.8 Alınan sediment kor örneklerinin ön hazırlıkları

Ön işlemlerden geçirilerek hazırlanan sediment örneklerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi için aşağıdaki analizler gerçekleştirilmiştir.

- Yığın (Bulk) Yoğunluğu ve Nem İçeriği
- Partikül Boyut Analizi
- ^{210}Pb Radyoizotop Analizleri
- Organik Madde Analizi
- Karbon ve Azot Analizi
- İzotopik ^{13}C Analizi
- Toplam Fosfor Analizi

Elde edilen veriler Microsoft Excel (Ver: 2013)'de düzenlenerek, Golden Software Grapher (Ver: 9.6) programı yardımıyla grafiklenmiştir. Çalışma alanının haritaları ArcGIS (Ver: 10.2) ve Google Earth Pro kullanılarak oluşturulmuştur.

4.3.1. Yığın (Bulk) Yoğunluğu ve Nem İçeriği

Bir yığını oluşturan parça sistemlerinin yoğunluğuna “Yığın yoğunluğu” veya “Bulk yoğunluğu” denir. Yığın yoğunluğu, yığını oluşturan tanelerin parça cinsi ve boşluk oranı ile ilgilidir [98].

Yığın yoğunluğu analizleri karbon ve nütrient birikim hızlarının belirlenmesi ve karbon yoğunluğunun hesaplanabilmesi için gerçekleştirilmiştir. Yığın yoğunluğu ve nem içeriği analizleri için 4 mL hacimli küvetlere homojenle tirilen sediment örneklerinden eklenerek tartılmıştır.



Şekil 4.9 Analizlerde kullanılan vakumlu fırın (VWR, USA) ve tartı (Sartorius CP225D)

Küvetler, 105 C’de vakumlu fırında (VWR, USA) sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur. Kurutulduktan sonra tekrar tartılarak 3 ve 4 nolu denklem kullanılarak yığın (bulk) yoğunluğu ve nem içeriği hesaplanmıştır ( ekil 4.6).

$$Yığın (Bulk) Yoğunluğu \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{Kuru Toprak Kütlesi (g)}{Kap Hacmi (cm^3)} \quad (3)$$

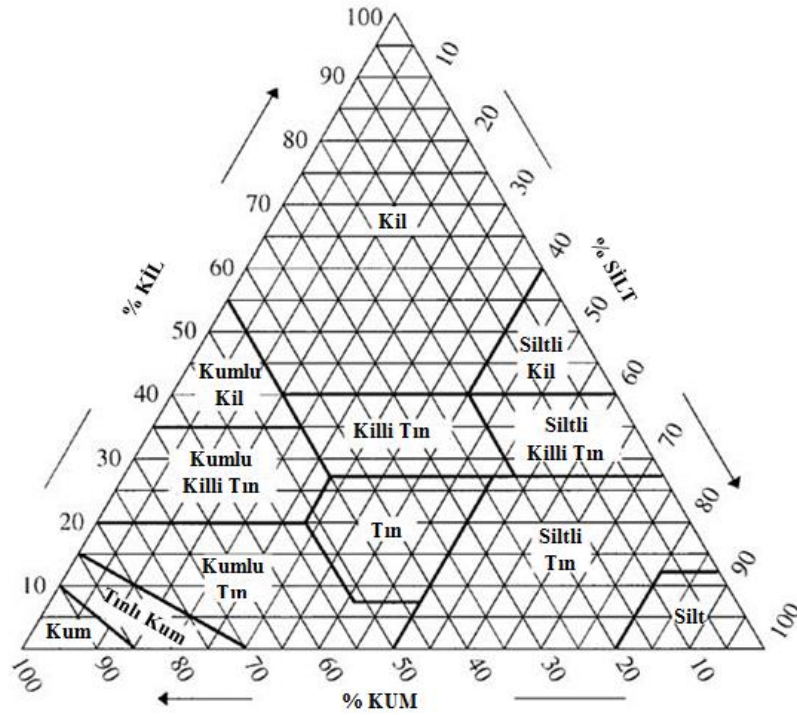
$$Nem içeriği \left(\frac{g}{g} \right) = \frac{Islak Toprak Kütlesi (g) - Kuru Toprak Kütlesi (g)}{Kuru Toprak Kütlesi (g)} \quad (4)$$

4.3.2. Partikül Boyut Analizi

Partikül boyut analizi su-toprak hareketinin tahmininde geçirgenlik verisi ile birlikte kullanılabilir. Çok küçük toprak partikülleri süspansiyonla toprağın suyuna sızarlar ve içinde bulunan karbon ve nütrientleri yeraltında biriktirirler. Yeraltında oluşan bu materyaller partikül boyu analizi ile boyutlandırılabilir. Partikül boyut analizi belirli bir toprak kütlesindeki farklı tanecik boyutlarının

görelî oranlarını belirlemek için yapılır. Toprak mineral madde, organik madde, su ve havanın fiziksel olarak bir karışımıdır. Toprağın içindeki mineral kısım boyutları taş ve çakıldan toza kadar değişen inorganik partiküllerden oluşmaktadır. Toprağın fiziksel yapısını incelemeye toprak bünyesi önemli bir parametre olup toprağın hava ve su geçirgenliğinin bir göstergesidir [99]. Amerika Tarım Departmanı (USDA) toprağı bünye açısından 3 ana gruba ayırmıştır; Kum (2.0 - 0.050 mm), silt (0.050 – 0.002 mm) ve kil (<0.002 mm). Topraktaki kil fraksiyonu en küçük boyutlara sahip fraksiyondur ve kum ve siltin aşınmasından oluşur [100].

Toprak bünyesi sınıflandırması toprağın içerdiği kum, silt, kil yüzdelere bakılarak, toprak bünye üçgeni kullanılarak yapılır. Toprak bünyesi kum, silt, kil olarak 3 ana gruba ayrılır ve bu gruplar kendi aralarında 12 farklı sınıfa ayrılır. Bu sınıflandırmalar toprak bünye üçgeni ile Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Toprak bünye (tekstür) üçgeni

Kum bünyeli topraklar yapısında %70'ten fazla kum bulundurlar. Bu tip toprakların organik madde içeriğı ve su tutma kapasiteleri düşüktür. Su geçirgenlikleri iyi olduğundan kirleticiler ve besin maddeleri kolayca yıkanarak

ortamdan uzaklaştırılabilirler. Tınlı toprakların kum, silt, kil içeriği yaklaşık olarak aynıdır. Bu tip topraklar besin maddelerini ve kirleticileri yeteri kadar kil içermeleri sebebiyle rahatça tutmaktadır. Kil bünyeli toprakların ise su tutma kapasiteleri yüksek, su geçirgenlikleri düşüktür. Bu tip topraklar işlenmesi zor topraklardır [101].

Sediment kor örneklerinin içerisinde bulunan kum, silt ve kil yüzdesinin belirlenmesi için elek analizi ve partikül boyut analizi gerçekleştirilmiştir. ASTM C136-06 metoduna göre elek analizi için 60°C’de kurutulan ve havan yardımıyla homojenleştirilen sediment örnekleri 0.075 – 0.6 mm arasında farklı çaplara sahip elekler yardımıyla elenmiştir (Şekil 4.11). 0.075 mm dane boyutundan daha küçük örneklerde hidrometre analizi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.11 Elek Analizinde kullanılan çalkalayıcı (ELE Rotasift Sieve Shaker), tartı (Mettler PC 4400), kap ve farklı dane çaplarına sahip elekler

Toprak sınıflarını belirlemek için hidrometre metodu kolay ve hızlı bir teknik olup, hidrometre analizinde ASTM D422 metodu kullanılmıştır. Bu metotta kullanılan dispersiyon reaktifi Sodyum Heksametafosfat ($\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{12}$)’dır. 1 L ultra saf su içerisinde 40 g $\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{12}$ çözülerek dispersiyon reaktifi hazırlanır. Her bir örnek için hidrometre mezürüne 125 ml dispersiyon reaktifi eklenir. Elek analizi yapıldıktan sonra 0.075 mm’den daha küçük sediment örneği dispersiyon reaktifi

ile 2 dakika çalkalayıcıda karıştırılır. Karışım hidrometre mezürüne aktarılır, üzerine 750 ml saf su eklenir. Mezürün ağzı tıpa ile kapatılır ve manuel olarak 1 dakika karıştırılır. Hidrometre direk mezürün içine konarak ilk ölçüm alınır. Belli aralıklarla hidrometre ölçümleri yapılır ve hidrometre ölçümleri okunan gerçek değer sabitlenene kadar devam edilir. Aynı işlemler sadece 125 ml dispersiyon reaktifi eklenen kontrol çözeltisi içinde yapılır ve “0” düzeltmesi değeri bulunur.



Şekil 4.12 Hidrometre analizinde kullanılan çalkalayıcı ve hidrometre mezürü

Hidrometreden okunan değerlerden (R_a), “0” düzeltmesi çıkarılır ve sıcaklık düzeltme faktörü (C_T) ile toplanarak düzeltilmiş hidrometre okuma değerleri (R_c) elde edilir (Denklem 5).

$$R_c = (R_a - \text{“0” Düzeltmesi}) + C_T \quad (5)$$

Kum, kil, silt yüzdeleri toprak bünye üçgeni kullanılarak hidrometre okuma değerlerinden elde edilir.

4.3.3. ^{210}Pb Radyoizotop Analizleri

Sedimentasyon hızı ve sediment yaşının belirlenmesi için ^{210}Pb radyoizotop ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı tarafından desteklenen 1305F105 nolu proje kapsamında, Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Gama

Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Sediment örneklerinde yüksek saflıkta kuyu tipi Germanium dedektörlü (Canberra GCW 4023, HPGe dedektör) % 44,8 bağlı verimli, p-tipi, analog sinyal işleme sistemi, spektral hafızalı gama sayım sistemi bulunan ve gama spektroskopi yazılımına sahip gama spektrometresi (Şekil 4.13) kullanılmıştır.

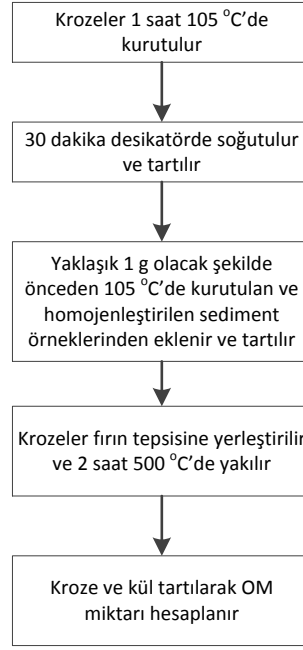
Ön işlemlerden geçirilerek hazırlanan sediment numuneleri Şekil 4.13’de görülen kuyu tipi gama spektroskopi tüplerine hava kalmayacak şekilde doldurulur ve ağırlıkları tartılır. Radyoizotop değerleri sabitlenene kadar sayıma devam edilir. Bq/kg cinsinden Pb aktivite değerleri ve CRS modeli kullanılarak sedimantasyon hızı hesaplanmıştır.



Şekil 4.13 Gama Radyoaktivite Cihazı, ölçüme hazırlanmış numuneler

4.3.4. Organik Madde Analizi

Sediment numunelerindeki toplam organik madde (OM) kül fırınında (Indberg/Blue) yanma kaybına bağlı olarak hesaplanmıştır. Analiz Şekil 4.14’deki gibi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.14 Organik madde analizi

Analiz sonuçları 6' nolu denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Organik Madde} = \frac{(\text{Kroze} + \text{Örnek}) \text{ kütlesi, g} - (\text{Kroze} + \text{Kül}) \text{ kütlesi, g}}{\text{Örnek Kütlesi, g}} \quad (6)$$

4.3.5. Karbon, Azot ve İzotopik ^{13}C Analizleri

Sedimette biriken karbon ve azotu belirleyebilmek için elementel analiz cihazı kullanılarak birikim % miktarları belirlenmiştir. Cihazda taşıyıcı (carrier) gaz olarak helyum gazı, yakıcı gaz olarak oksijen gazı ve referans gaz olarak azot gazı kullanılmıştır. CHN-S Elementel Analiz Cihazı, katı, sıvı ve gaz örneklerde inorganik ve organik maddelerin yapısında bulunan Karbon (C), Hidrojen (H), Azot (N) ve Kükürt (S)'ün aynı anda analizleyebilen bir cihazdır. Cihazın çalışma prensibi kalay kaplardaki maddenin yakılarak gaz haline getirilmesi, gaz karışımının helyum gazı ile kromatografi kolonuna gönderilmesi, kolonda oksijen gazı ile yakılarak gazların ayrılması ve termokondüktif dedektöre iletilerek miktarının belirlenmesi olarak sıralanabilir.

Ön işlemlerden geçirilen (Şekil 4.6) sediment örneği kalay kaplarda 20 mg olarak tartılmış ve Thermo Flash EA 2000 Elemental Analiz Cihazı (Şekil 4.13) kullanılarak 950-1000°C'deki yüksek sıcaklıkta yakılarak element yüzdeleri belirlenmiştir.



Şekil 4.15 Elemental Analiz Cihazı (Thermo Scientific Flash 2000 CHNS-O analyzer) ve mikro tartı (Mettler Toledo)

Elementel analiz ölçümlerinde kalibrasyon ve kontrol standardı olarak referans standart çözelti Thermo Scientific 338 40026 B/N 167578 Soil Reference Material kullanılmıştır. Her 10 örnek analizinde kalibrasyon kontrol edilerek analizlere devam edilmiştir.

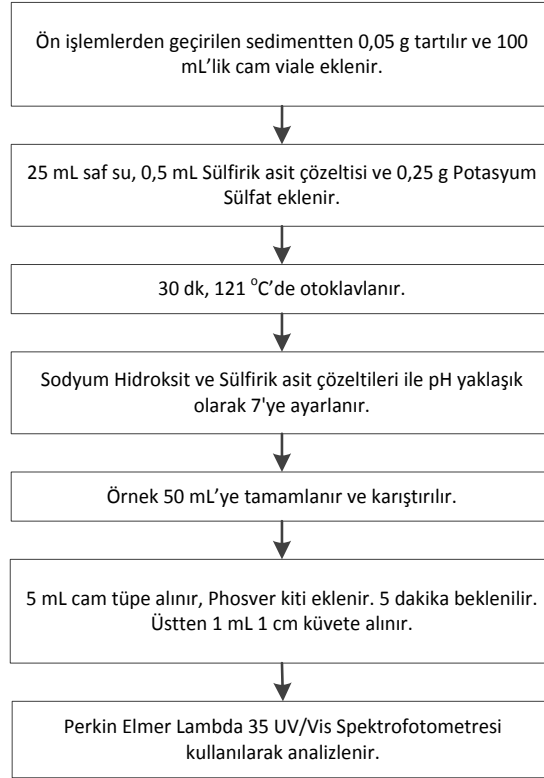
Organik ve izotopik karbon analizleri için toprak örneğinden yaklaşık 1 g kadar alınıp, içinde 250 mL HCl olan vakumlu bir kapta 24 saat bekletilmiş ve sonrasında 2 saat 105°C de kurutularak örnekler analizlerde kullanılmıştır. Organik karbon ve izotopik karbon ölçümlerinde 20 mg sediment örnekleri kalay kaplarda tartılarak elementel analiz kütle spektrofotometresinde (Şekil 4.15) analiz edilmiştir.



Şekil 4.16 Elementel Analiz Cihazı _ İzotop Oran Kütle Spektrofotometresi (Thermo Scientific Flash Delta V™ Isotope Ratio Mass Spectrometer)

4.3.6. Toplam Fosfor Analizi

Toplam fosfor analizleri Standart Metod 4500-P Asit Persülfat metoduna göre HACH PhosVer3 (Loveland, CO) kitleri kullanılarak 880 nm dalga boyunda Perkin Elmer Lambda 35 UV/Vis Spektrofotometre (Shelton, CT) cihazında gerçekleştirilmiştir. Metodun iş akış diyagramı Şekil 4.17’de, deneyin yapılışı Şekil 4.18’de gösterilmiştir.



Şekil 4.17 Toplam Fosfor analizinin akış şeması



Şekil 4.18 Toplam Fosfor analizinin yapılışı ve kullanılan cihazlar

5. BULGULAR

San Joaquin nehrinin batısında yer alan nehir kıyısı (riparian) alanından iki sediment kor numunesi alınmıştır. San Luis Ulusal Yaban Hayatı Koruma Bölgesinden dört sediment kor numunesi alınmıştır. Nehir kıyısı alanı özellikle tarımsal sulama dönemindeki 6 ay boyunca (Nisan-Ekim) tarımsal akış almaktadır [96].

San Joaquin ve San Luis Ulusal Yaban Hayatı Koruma Bölgesinden alınan sediment korlarının fiziksel özellikleri (yığın yoğunluğu, nem içeriği, partikül boyut analizi), organik madde, karbon, azot ve fosfor birikimi ayrıca radyoaktif kurşun izotopu aktivite değerleri ve CRS modeli ile hesaplanan birikim hızları değerlendirilmiştir. Korlardaki Karbon/Azot (C/N) oranı ve $\delta^{13}\text{C}$ değerleri farklı organik madde girişlerini ve değişimlerini belirlemek için değerlendirilmiştir.

5.1. Sediment Korlarının Fiziksel Özellikleri

Alınan sediment korlarının yığın yoğunluğu, nem içeriği ve partikül boyutu gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Çizelge 5.1'de 17 Kasım 2011'de San Joaquin Ulusal Yaban Hayatı koruma bölgesindeki nehir kıyısı (riparian) alanından alınan iki sediment korunda derinliğe bağlı olarak ortalama yığın yoğunluğu, nem içeriği, partikül boyut analizi verileri görülmektedir.

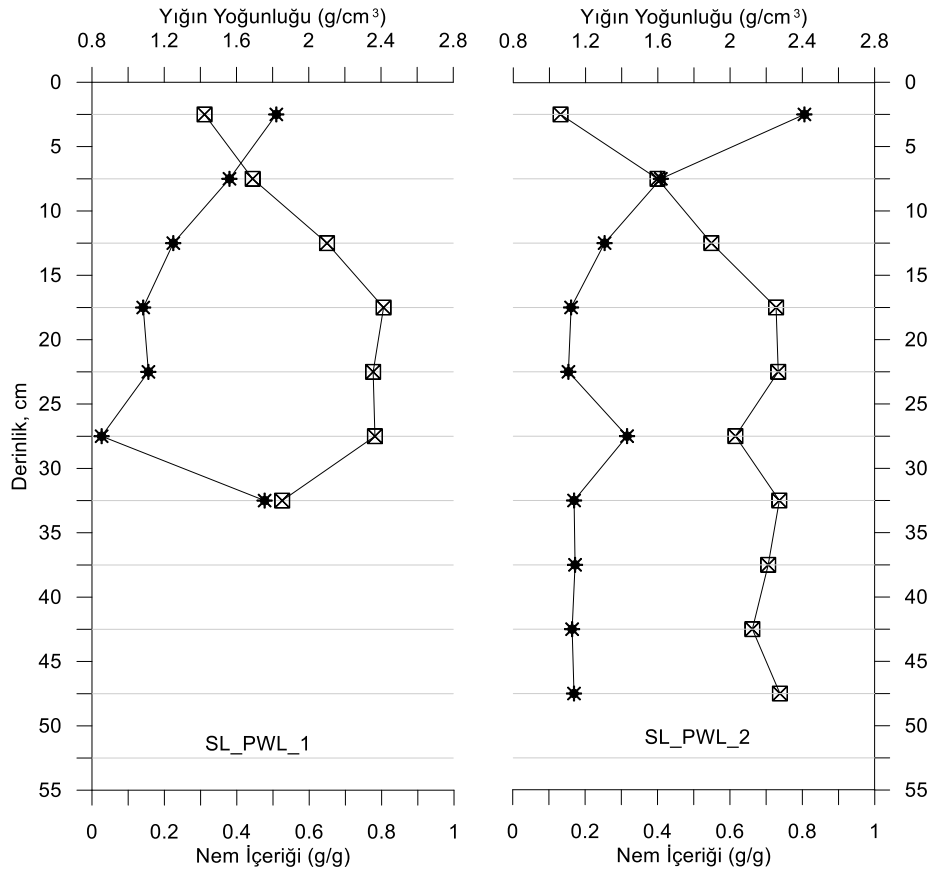
SJR_CR_1 koru devamlı olarak su altında bulunan bir alandan alınmıştır, SJR_CR_2 koru ise geçici olarak su altında bulunan alandan alınmıştır. Devamlı su altında bulunan alandan alınan sediment korunda yığın yoğunluğu daha düşük, buna bağlı olarak nem içeriği daha yüksek olarak bulunmuştur.

İki korun partikül boyut dağılımı analizine göre kum yüzdesinin yaklaşık olarak % 80 olmasından ve silt, kil içeriklerinin kuma göre daha düşük olmasından dolayı hem devamlı hem de geçici alan sedimentleri kumlu tın özelliği göstermektedir.

Çizelge 5.1 San Jaoquin UYKA alanından alınan sediment korlarının fiziksel özellikleri

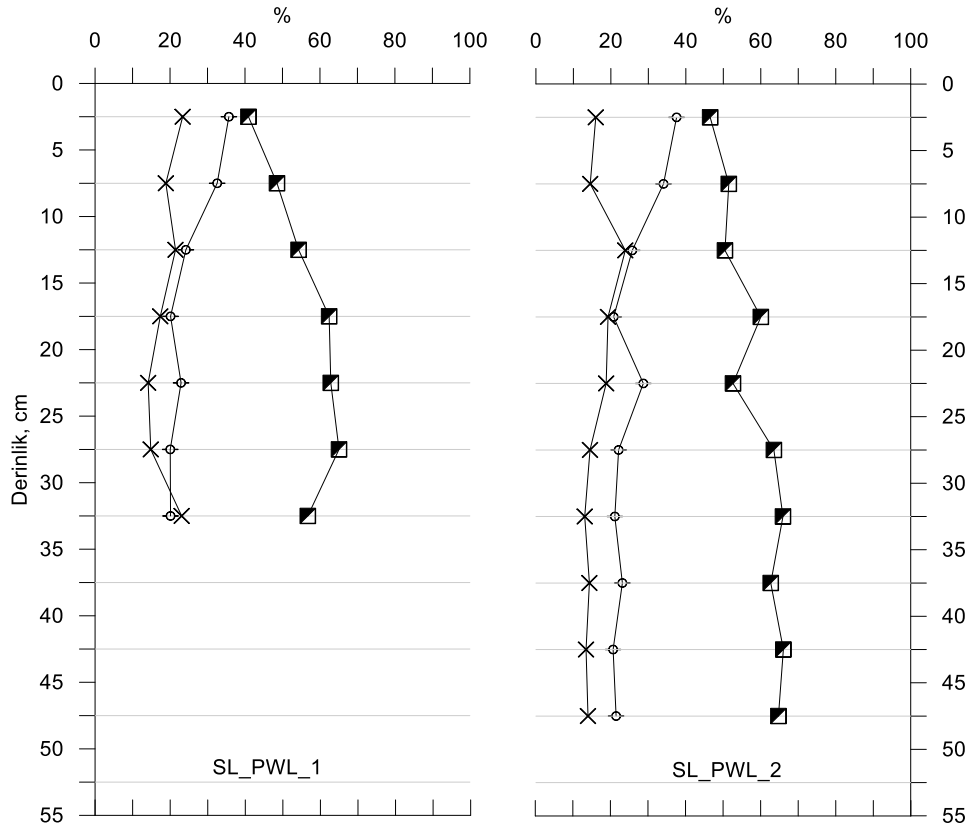
Kor Adı	Ort. Yığın yoğunluk, g/cm ³	Ort. Nem İçeriği, g/g	Kum, %	Silt, %	Kil, %	Özelliği
SJR_CR_1	1,774	0,344	79,74	8,19	12,07	Kumlu Tın
SJR_CR_2	2,118	0,221	84,5	4,7	10,8	Kumlu Tın

San Luis UYKA devamlı sulak alanından iki sediment kor numunesi Nisan 2012 örneklemesinde sulak alanın giriş ve çıkışından alınmıştır (Şekil 4.3). Devamlı sulak alandan alınan korlardaki fiziksel özellikler Ek 1 Çizelge 1 ve 2’de görülmektedir. Devamlı sulak alan sedimentlerinin yığın yoğunluğu değerleri her 5 cm için ölçülmüştür ve Şekil 5.1’de görülmektedir. Yığın yoğunluğu değerleri sedimentlerin sıkışmasından dolayı derinliğe bağlı olarak artmaktadır. Sedimentlerin nem içerikleri derinliğe bağlı olarak azalmaktadır. Sulak alanın girişinden alınan SL_PWL_1 korunda son 5 cm’de yığın yoğunluğunun tekrardan azaldığı sediment içerisindeki nem yüzdesinin de arttığı gözlenmiştir.



Şekil 5.1 Devamlı sulak alan korlarının derinliğe bağlı yığın yoğunluğu (☒) ve nem içeriği (*) değişimi

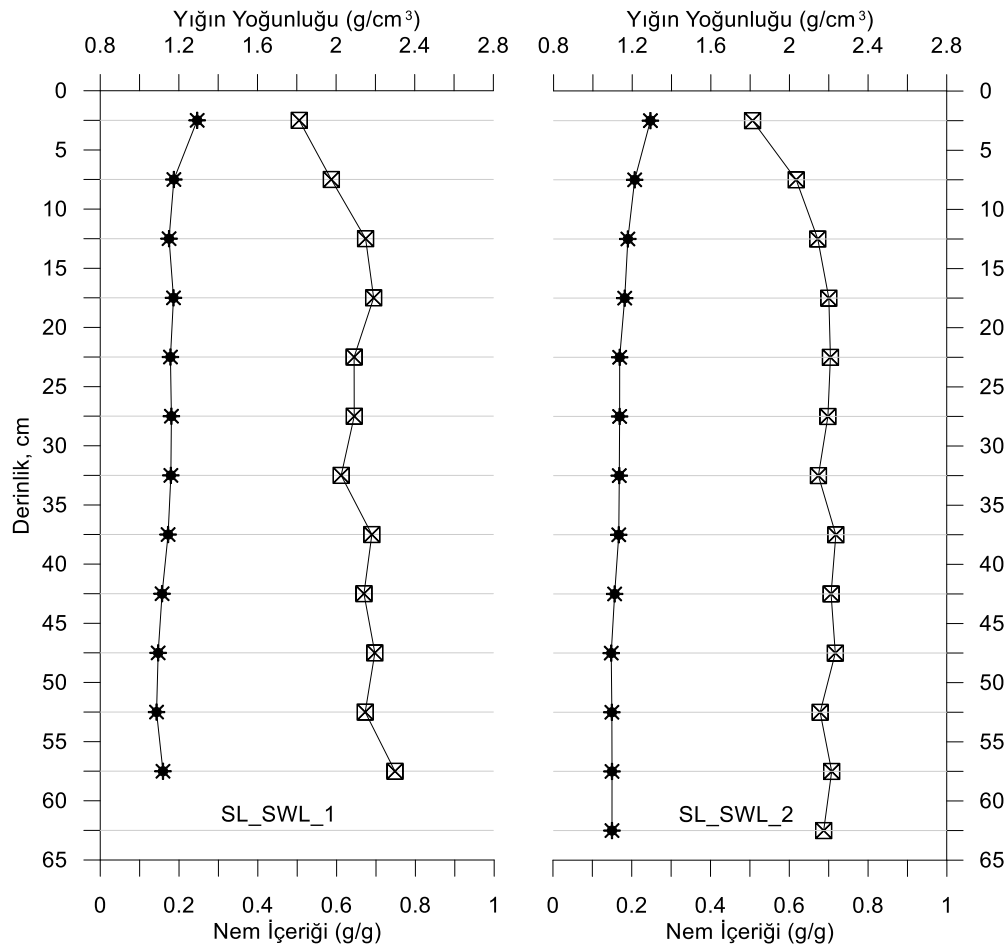
Partikül boyut analizi de her 5 cm için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.2). Devamlı sulak alandan alınan 2 kor numunesinde ortalama olarak % 25 kum içeriği bulunmaktadır. Devamlı sulak alanın giriş ve çıkışından alınan korlarda silt ve kil içeriği derinliğe bağlı olarak benzer bir dağılım göstermiştir. Nehir kıyıs alandaki kil içeriği ortalama olarak % 10 değerinde iken, devamlı sulak alandan alınan numunelerdeki kil içeriği oldukça yüksektir. Devamlı sulak alan korlarındaki kil içeriği ortalama olarak % 55 bulunmuştur ve killi özellik göstermektedir. Özellikle giriş ve çıkış korlarının yapıları ilk 5 cm’de killi tın özelliği göstermektedir. 5 cm’den aşağıdaki sedimentler iki kor için kumlu killi tın özelliği göstermektedir.



Şekil 5.2 Devamlı sulak alan korlarının derinliğe bağlı partikül boyut dağılımı (Kil: ■, Silt: ×, Kum: ○)

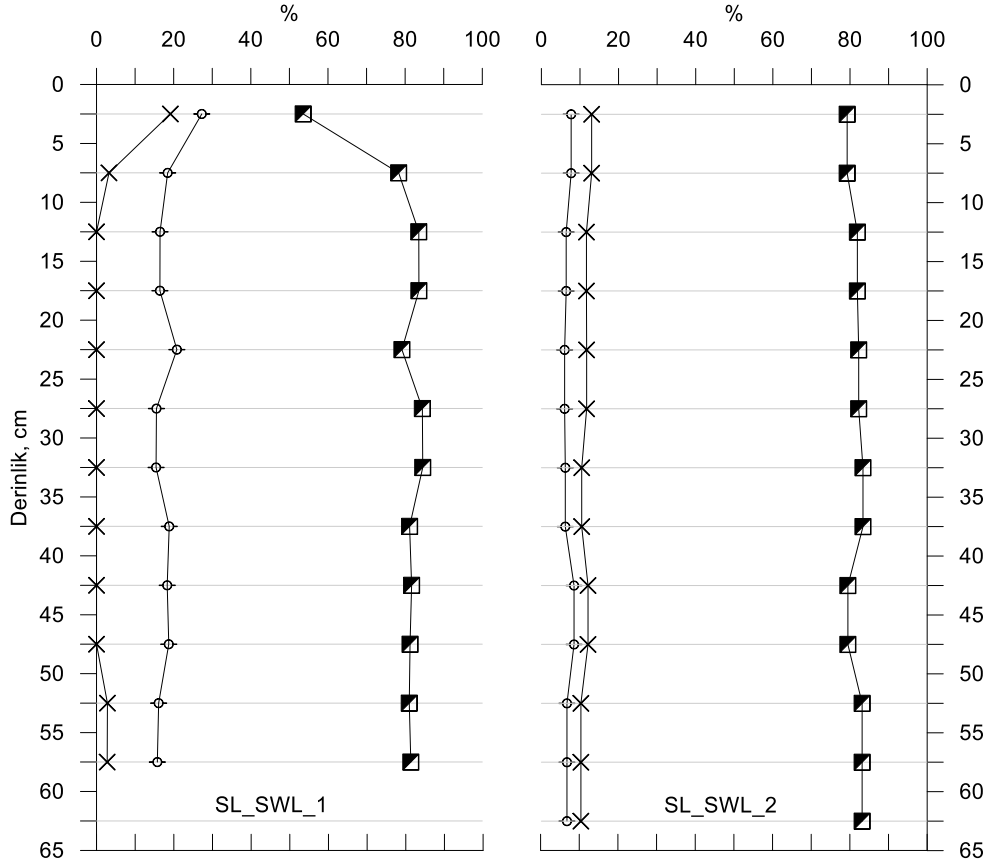
San Luis UYKA geçici sulak alanından iki sediment kor numunesi Mayıs 2012 örneklemesinde alınmıştır (Şekil 4.3). Geçici sulak alandan alınan korlardaki fiziksel özellikler Ek 1 Çizelge3 ve 4’de görülmektedir. Şekil 5.3’de görüldüğü gibi

yığın yoğunluğu değerleri derinliğe bağlı olarak artmakta ve 10 cm'den daha derine inildiğinde değişiklik gözlenmemektedir. Fakat devamlı sulak alanla karşılaştırıldığında daha fazla yığın yoğunluğuna sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca nem içeriklerinin derinliğe bağlı değişmediği görülmektedir. Ortalama yığın yoğunluğu değerlerine bakıldığında en düşük yoğunluklu korun nehir kıyısı alanından devamlı olarak su altında bulunan alandan alınan kor olduğu görülmektedir.



Şekil 5.3 Geçici sulak alan korlarının derinliğe bağlı yığın yoğunluğu (⊠) ve nem içeriği (*) değişimi

Geçici sulak alandan alınan korlarda ortalama kum içeriği (% 18) ve ortalama silt içeriği (% 3,5) devamlı sulak alana göre daha düşük bulunmuştur. Bununla beraber kil içeriği ortalama olarak % 75 olarak en yüksek geçici sulak alan korlarında belirlenmiştir (Şekil 5.4).



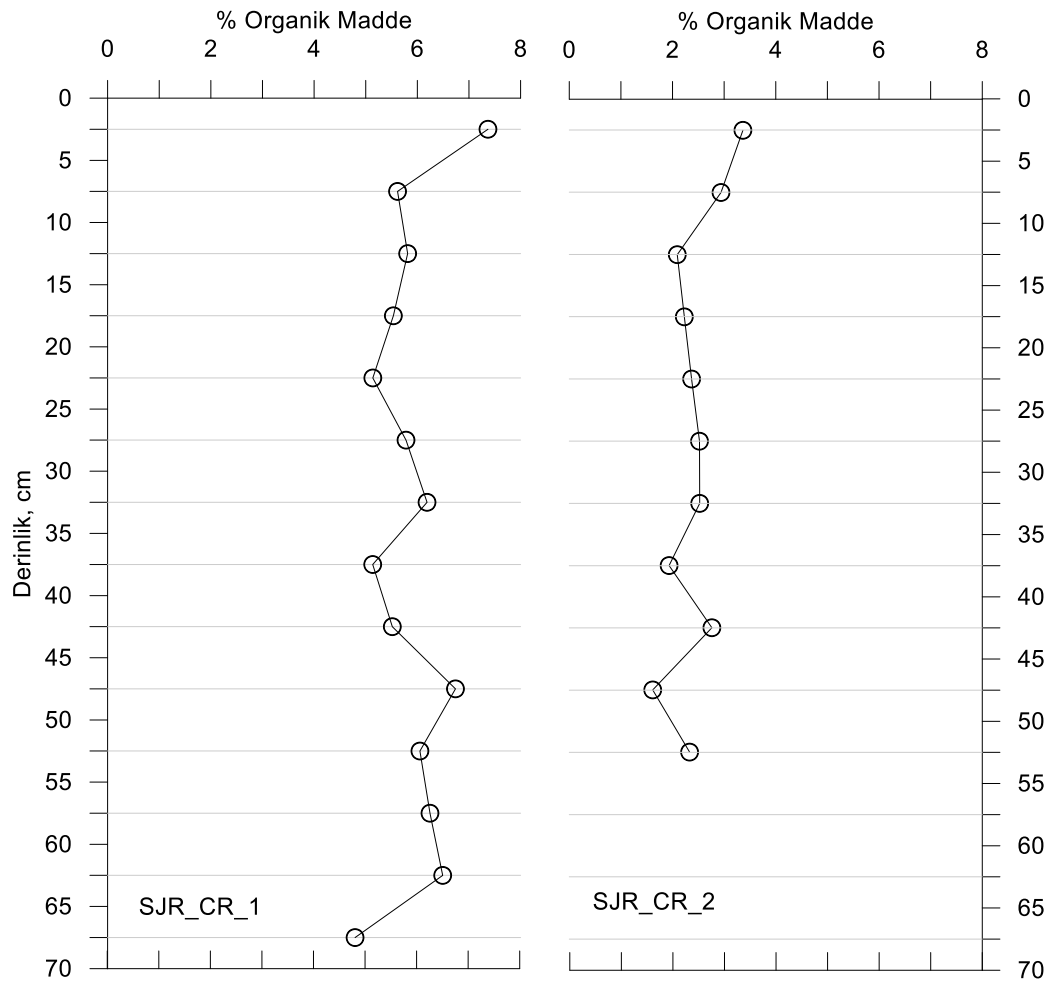
Şekil 5.4 Geçici sulak alan korlarının derinliğe bağlı partikül boyut dağılımı (Kil: ■, Silt: ×, Kum: ○)

Geçici sulak alan korlarındaki silt içerikleri diğer alan korlarına göre daha düşüktür. Özellikle SL_SWL_1 korunda 10-45 cm arasında silt içeriğine rastlanmamıştır.

5.2. Sediment Korlarında Organik Madde Birikimi

Nehir kıyısalı alanındaki devamlı ve geçici olarak su altında bulunan korlardaki pH, organik madde, toplam karbon, organik karbon, organik karbona dayalı ölçülen $\delta^{13}\text{C}$, azot ve fosfor değerleri Ek 2. Çizelge 1 ve 2’de görülmektedir.

Nehir kıyısalı devamlı ve geçici olarak su altında bulunan alandan Kasım ayında alınan sediment numunesinde derinliğe bağlı organik madde değerleri Şekil 5.5’de gösterilmiştir.

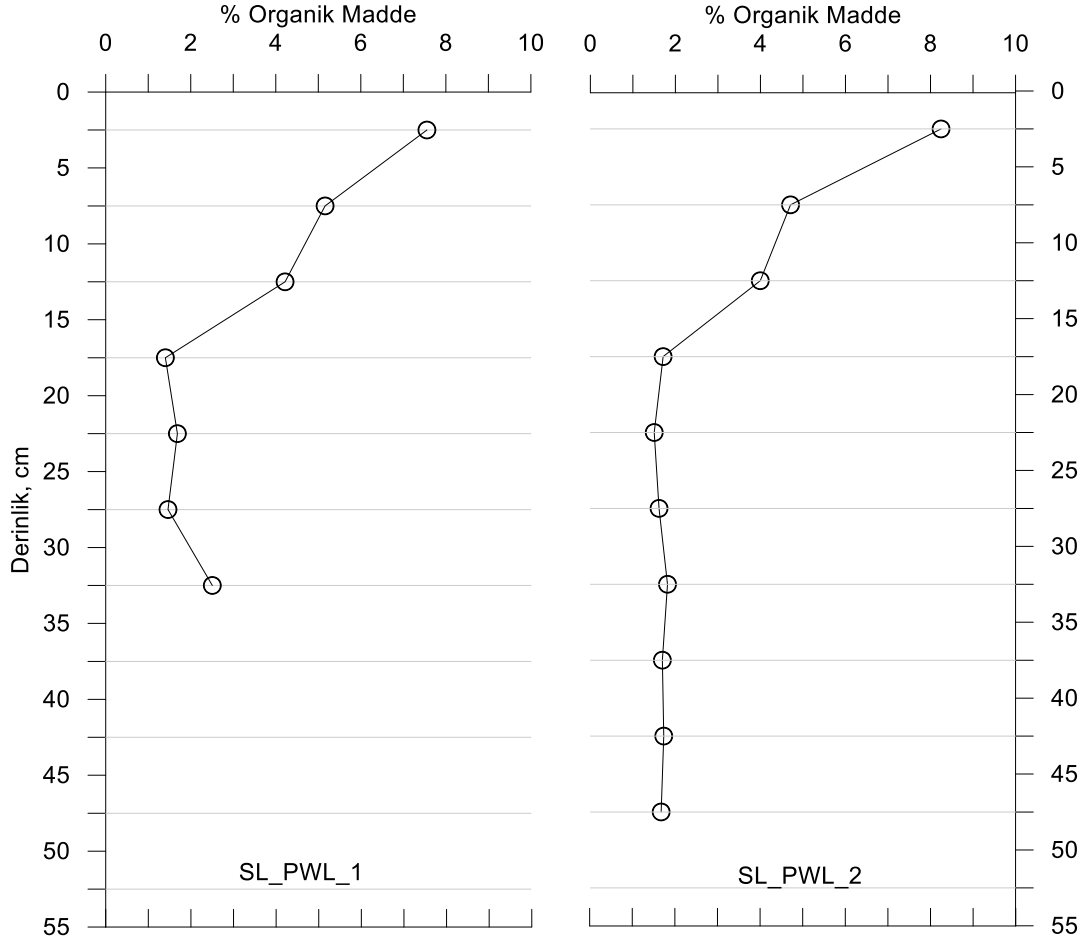


Şekil 5.5 Nehir kıyısalı alanından alınan korlardaki organik maddenin profilleri

Nehir kıyısı devamlı olarak su altındaki alandan alınan sediment numunesindeki organik madde miktarının derinliğe bağlı değişiminde anlamlı bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Sediment numunesindeki en yüksek organik madde birikimi ilk 5 cm’de (% 7,4) olmuştur. Numunedeki ortalama organik madde miktarı % 5,9’dur. Tarımsal sulamanın olduğu aylarda yoğun su alan fakat yılın 6 ayında su almayan alandan alınan SJR_CR_2 korunda ortalama olarak % 2,4 organik madde birikimi olduğu gözlenmiştir. Kor boyunca en yüksek organik madde değerinin ilk 5 cm’de (% 3,4) olduğu görülmüştür. Geçici olarak su altında bulunan alandan alınan numunede derinliğe bağlı anlamlı bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir. Nehir kıyısından alınan iki kor numunesinde devamlı olarak su altında bulunan alanın organik madde birikiminin geçici olarak su altında bulunan alana göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Devamlı sulak alandan alınan korlardaki pH, organik madde, toplam karbon, organik karbon, çözülmüş organik karbon ve organik karbona dayalı ölçülen $\delta^{13}\text{C}$, azot ve fosfor değerleri Ek 2 Çizelge 3 ve 4’de görülmektedir.

San Luis UYKA’ndaki devamlı ve geçici sulak alandan alınan sediment korlarında derinliğe bağlı organik madde değerleri Şekil 5.6 ve 5.7’de gösterilmiştir.

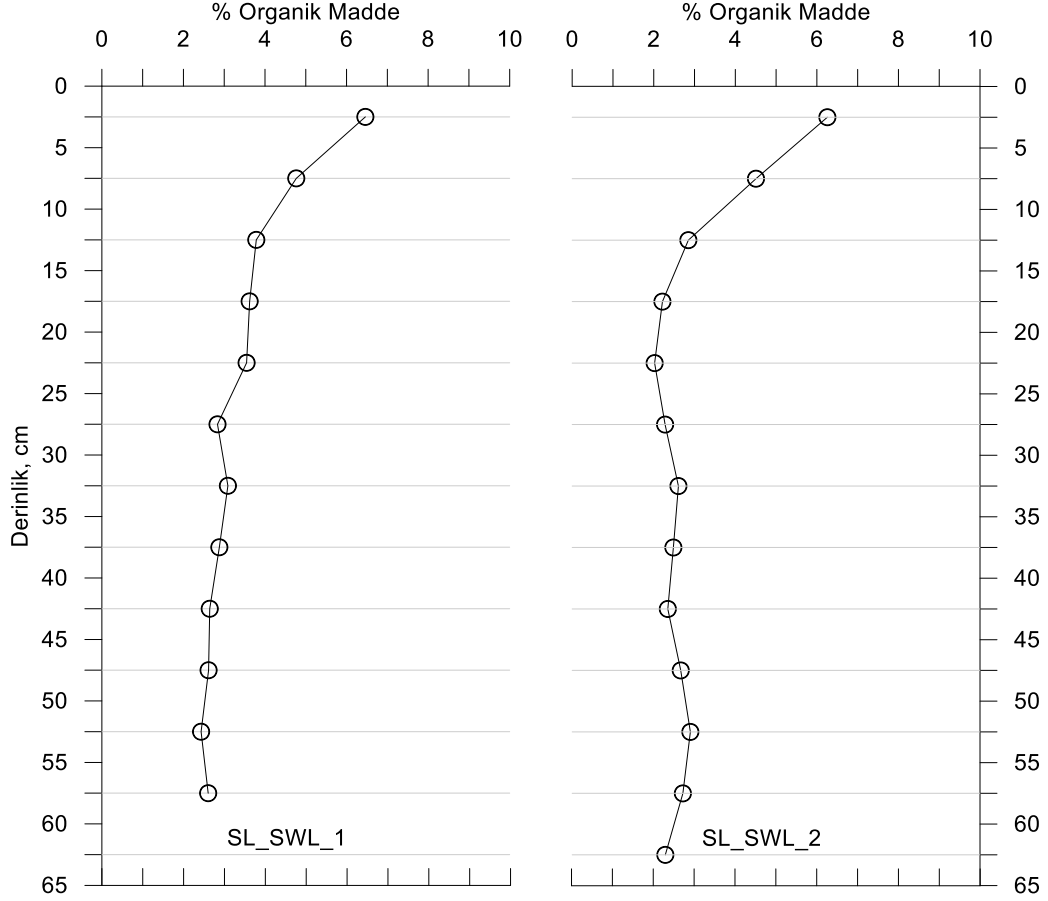


Şekil 5.6 Devamlı sulak alandan alınan korlardaki organik maddenin derinliğe bağlı değişimi

Devamlı sulak alanın giriş ve çıkışından alınan korlardaki ilk 5 cm’de ortalama organik madde derişimi arasında önemli bir farklılık görülmemiştir. Devamlı sulak alanın giriş korunda ortalama olarak % 3,4 organik madde birikirken, çıkış korunda ortalama organik madde birikimi % 2,9’dur.

Devamlı sulak alan korlarında organik madde miktarının derinliğe bağlı azaldığı ve alınan iki kordaki eğilimin derinliğe göre benzer özellik gösterdiği görülmektedir. Organik maddenin derinliğe bağlı olarak azalmasını bitki köklerinin çevrelerinde oluşan oksitlenmiş mikrozonlarda köklerin aerobik bakteriler ile bozundurulmasından kaynaklanabilir. Aynı zamanda organik maddenin kaybının toprağın yaşlanması ile birlikte fiziksel, mikrobiyolojik ve omurgasızlar tarafından bozundurulması ile açıklanabilir [94].

Geçici sulak alandan alınan korlardaki pH, organik madde, toplam karbon, organik karbon, çözülmüş organik karbon ve organik karbona dayalı ölçülen $\delta^{13}\text{C}$, azot ve fosfor değerleri Ek 2 Çizelge 5 ve 6’da görülmektedir.



Şekil 5.7 Geçici sulak alandan alınan korlardaki organik maddenin derinliğe bağlı değişimi

San Luis bölgesindeki geçici sulak alandan alınan kor örneklerinin ilk 5 cm’de ölçülen organik madde miktarı (ortalama % 6,3) birbirine çok yakın olarak bulunmuştur. İki korda da organik madde miktarı yüzeydeki ilk 15 cm’de azalma gösterirken, 15 cm’den daha derinlere inildiğinde değişmemiştir. Ortalama organik madde değerleri, devamlı sulak alandan alınan korlardaki ortalama organik madde değerleri ile yaklaşık olarak aynıdır.

5.2.1. Organik Maddenin Yığın Yoğunluğu ile İlişkisi

Literatürde sulak alanlarda yapılan çalışmalarda, organik maddenin yığın yoğunluğu ile negatif yönlü ilişkisinin yüksek olduğu görülmüştür [102-104]. Devamlı sulak alan sedimentlerinde yığın yoğunluğu ve organik madde derişimi arasında negatif yönlü yüksek bir korelasyon olduğu görülmektedir. Pearson korelasyon katsayısı - 0,93 olarak bulunmuştur ($p < 0,005$). Aynı şekilde geçici sulak alan sedimentlerinde de yığın yoğunluğu ve organik madde arasında negatif yönlü yüksek korelasyon bulunmuştur. Geçici sulak alan sediment korundaki korelasyon katsayısı - 0,90 olarak bulunmuştur ($p < 0,005$) (Çizelge 5.2). Elde edilen sonuçların literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.2 Devamlı ve geçici sulak alan korlarındaki OM'nin yığın yoğunluğu ile ilişkisi

Devamlı Sulak Alan	Geçici Sulak Alan
<i>Yığın Yoğunluğu – OM</i>	<i>Yığın Yoğunluğu – OM</i>
R= - 0,93 $p < 0,005$	R= - 0,90 $p < 0,005$

5.2.2. Organik Maddenin Partikül Boyut ile İlişkisi

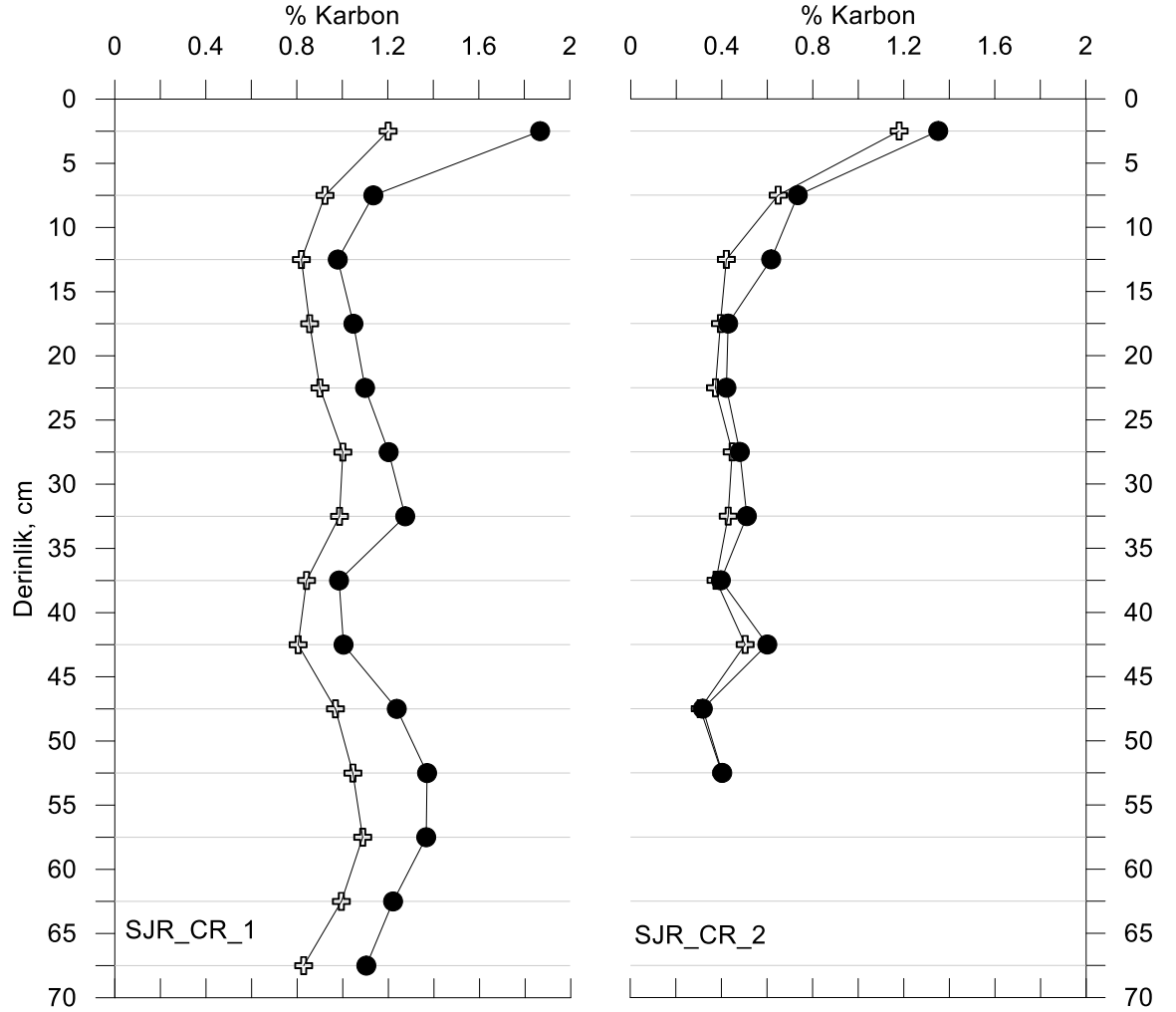
Literatürde sedimentlerdeki organik madde ile kum ve kil içeriği arasında ilişkilerin olduğu görülmüştür [45]. Devamlı sulak alandan alınan sediment korlarında kum ile organik madde arasında yüksek bir korelasyon görülürken, geçici sulak alan korlarında daha düşük bir korelasyon görülmüştür. Devamlı ve geçici sulak alanlarda kil içeriği ile organik madde arasında negatif yönlü anlamlı bir ilişki olduğu görülürken silt içeriği ile organik madde arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3 Devamlı ve geçici sulak alan korlarındaki OM'nin kum, kil ve silt yüzdesi ile ilişkisi

Devamlı Sulak Alan			Geçici Sulak Alan		
<i>Kum – OM</i>	<i>Kil – OM</i>	<i>Silt- OM</i>	<i>Kum – OM</i>	<i>Kil – OM</i>	<i>Silt- OM</i>
R = 0,89 $p < 0,005$	R = - 0,88 $p < 0,005$	R = 0,40 $p > 0,05$	R = 0,42 $p < 0,05$	R = -0,66 $p < 0,005$	R = 0,22 $p > 0,05$

5.3. Sediment Korlarındaki Karbon ve Azot Birikimi

Nehir kıyısı devamlı ve geçici olarak su altında bulunan alandan Kasım ayında alınan sediment numunelerinde derinliğe bağlı karbon değerleri Şekil 5.8’de gösterilmiştir.

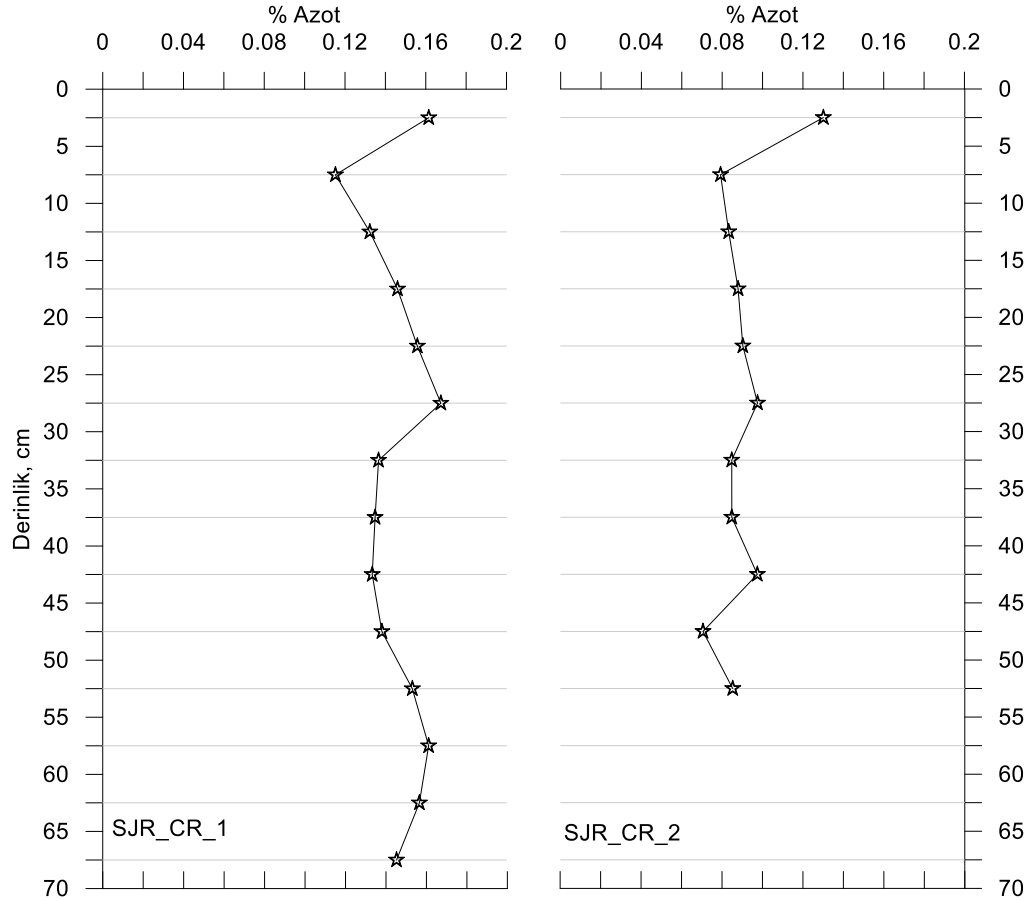


Şekil 5.8 San Joaquin UYKA alanından alınan SJR_CR_1 ve SJR_CR_2 sediment korundaki derinliğe bağlı C kompozisyonu (OC: +, TC: ●)

Nehir kıyısı alanından devamlı olarak su altında kalan bölgeden alınan SJR_CR_1 korundaki toplam karbon (TC) değeri % 0,98 ile 1,87 arasında değişmektedir. Ortalama olarak % 1,21 TC içermektedir. Bu alandaki TC değerinin

ortalama olarak % 80'i toplam organik karbon (TOC)'dur. Geçici olarak su altında bulunan sulak alandan alınan SJR_CR_2 korundaki TC değeri % 0,32 ile 1,35 (Ortalama % 0,57) arasında değişmektedir. Geçici alandaki kordaki TOC değeri TC değerinin %'85 ini oluşturmaktadır. Devamlı sulak alandaki toplam karbon birikimi geçici sulak alana göre daha yüksek bulunmuştur. İki korda da toplam organik karbon ile toplam karbon arasındaki ilişkinin anlamlı olduğu ($p < 0.005$) ve devamlı olarak su altında olan alanda $R = 0.94$ ve geçici alanda $R = 0.98$ olduğu görülmektedir.

Nehir kıyısalı devamlı ve geçici olarak su altında bulunan alandan Kasım ayında alınan sediment numunelerinde derinliğe bağlı azot değerleri Şekil 5.9'da gösterilmiştir.

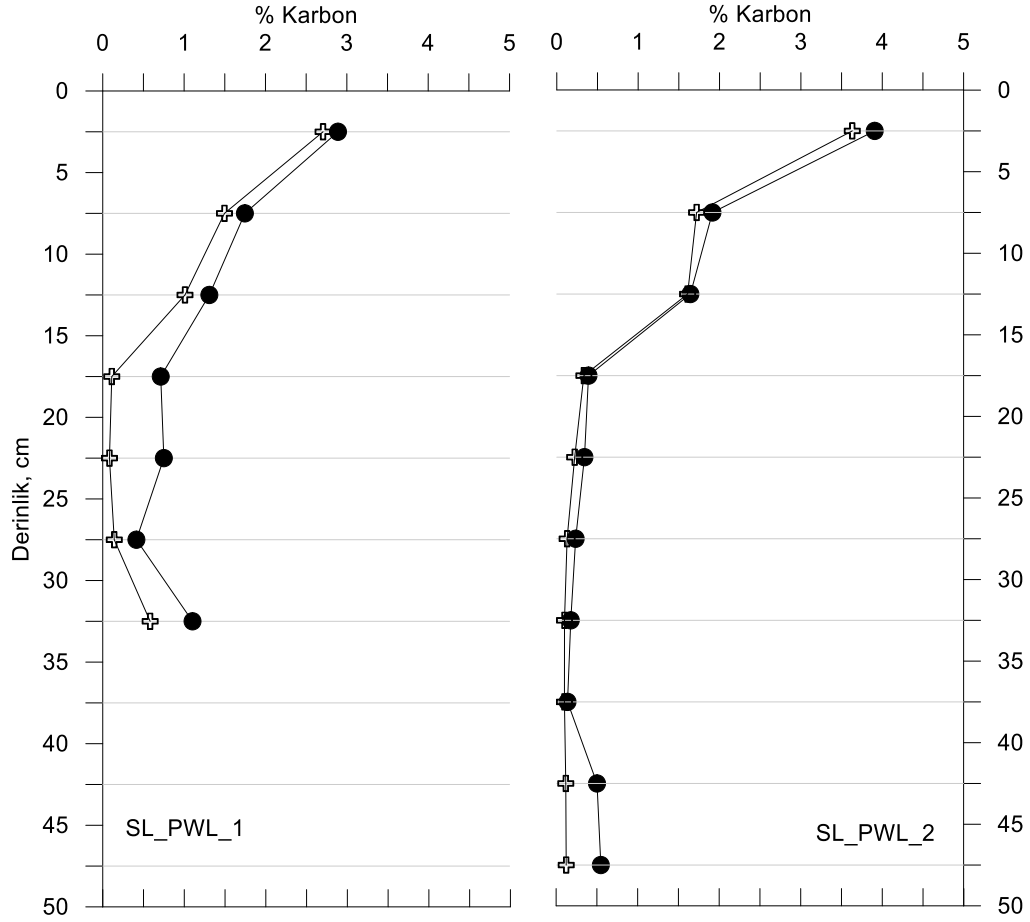


Şekil 5.9 San Joaquin UYKA alanından alınan SJR_CR_1 ve SJR_CR_2 sediment korundaki derinliğe bağlı N kompozisyonu

Devamlı ve geçici olarak su altında kalan alandan alınan sediment korlarındaki toplam azot değerleri % 0,04 ile 0,17 arasında değişmektedir. Ortalama toplam azot değerleri devamlı sulak alanda % 0,15, geçici sulak alanda % 0,09'dur. İki kor için derinliğe bağlı TN değerleri TOC ve TC ile aynı eğilimi göstermektedir. En yüksek TN değerlerinin devamlı olarak su altında kalan alanda olduğu görülmektedir. Devamlı ve geçici olarak su altında kalan alanda TN değerlerinin derinliğe bağlı değişimi arasında anlamlı bir ilişki bulunmamaktadır.

Nehir kıyısalı alanında devamlı olarak su altında bulunan bölgeden alınan kor numunesinde TN ile TC arasında anlamlı bir ilişki bulunmazken ($R=0,51$, $p>0.05$) TN ile TOC arasında anlamlı bir ilişki ($R=0,59$, $p<0.05$) bulunmaktadır. Aynı alandaki geçici sulak alandaki kor numunelerinde TN ile TOC ($R=0,84$, $p<0.005$) arasında ve TN ile TC ($R=0,82$, $p<0.005$) arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır.

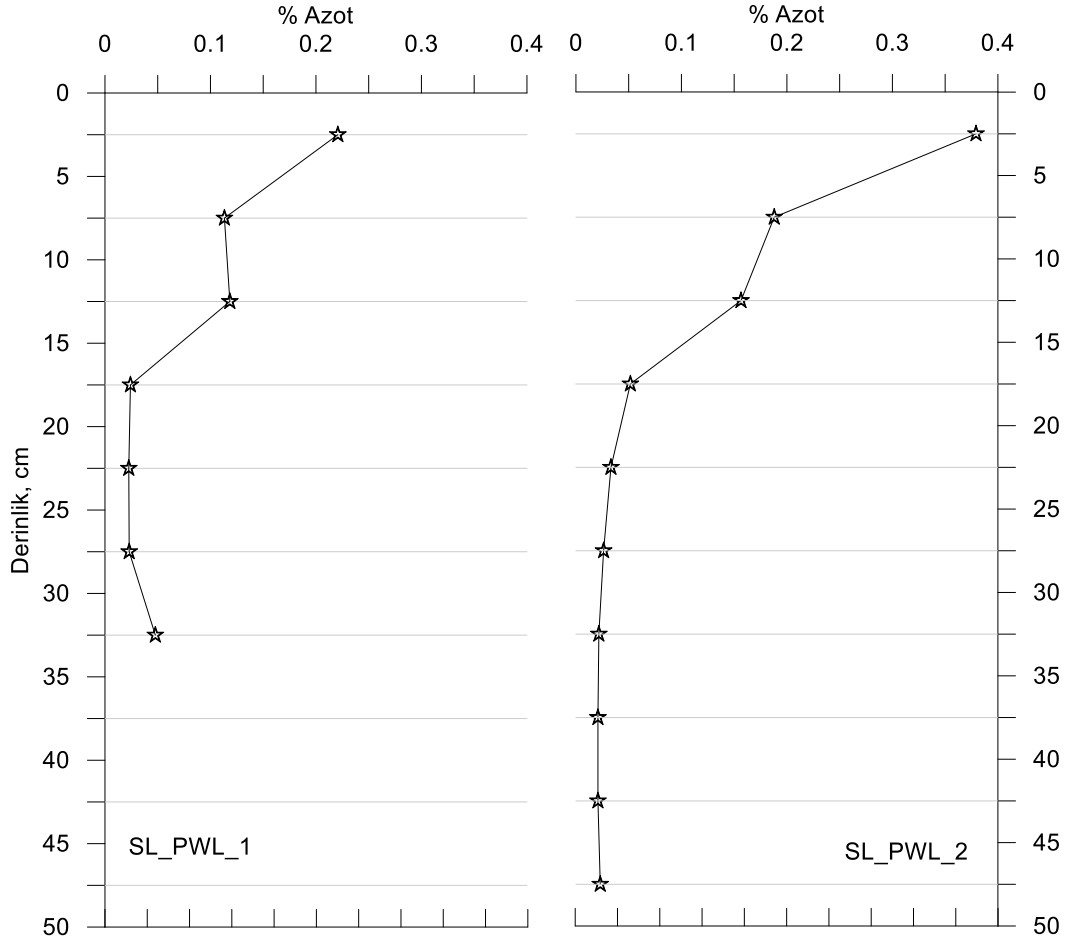
Devamlı sulak alanın giriş ve çıkışından alınan korlardaki karbon yüzdelerinin derinliğe bağlı olarak değişimi Şekil 5.10'da görülmektedir.



Şekil 5.10 Devamlı sulak alandan alınan SL_PWL_1 ve SL_PWL_2 sediment korundaki derinliğe bağlı C kompozisyonu (OC: +, TC: ●)

Devamlı sulak alandan alınan korlardaki TC ile OC değerlerinin derinliğe bağlı değişimi benzerlik göstermektedir. Devamlı sulak alanın giriş ve çıkışından alınan korlardaki yüzeydeki TC birikimi % 2,89 ve % 3,91 olarak ölçülmüştür. Korların ilk 10 cm'sinde biriken toplam karbonun yaklaşık olarak % 90'ının organik karbon olduğu görülmektedir. Alınan korlardaki karbon değerleri ilk 15 cm'de azalma gösterip, daha derine inildiğinde değişim görülmemiştir.

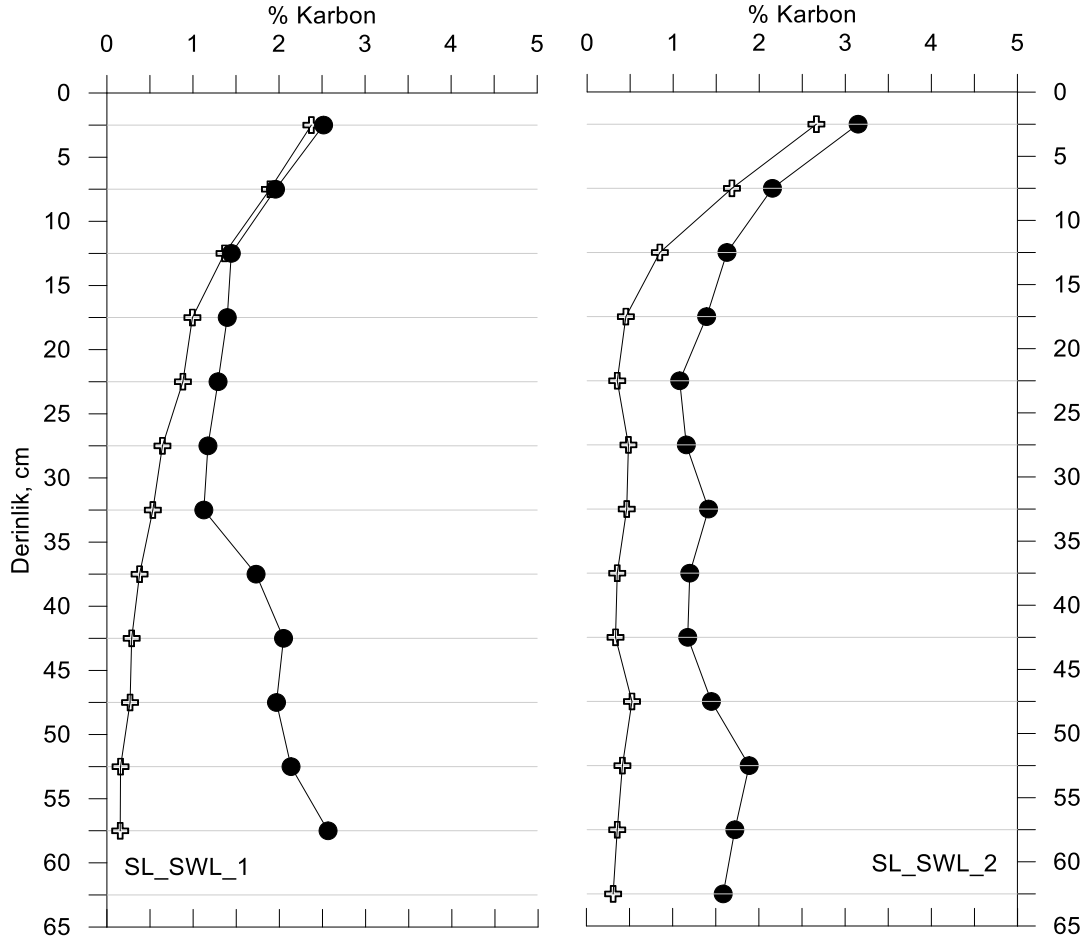
Devamlı sulak alandan alınan korlardaki azot yüzdelerinin derinliğe bağlı olarak değişimi Şekil 5.11'de görülmektedir.



Şekil 5.11 Devamlı sulak alandan alınan SL_PWL_1 ve SL_PWL_2 sediment korundaki derinliğe bağlı N kompozisyonu

Devamlı sulak alandan alınan sediment korlarındaki toplam azot değerleri % 0,007 ile 0,52 arasında değişmektedir. Korlardaki derinliğe bağlı TN değerleri OC ve TC ile aynı eğilimi göstermektedir. Sulak alanın giriş ve çıkışından alınan korlarda ilk 20 cm’de derinliğe bağlı bir değişimin olduğu fakat 20 cm’den sonra azot değerlerinin değişmediği görülmektedir. Devamlı sulak alanda giriş ve çıkış korunda toplam azotun hem toplam karbon hemde organik karbon içeriği ile arasında oldukça yüksek Pearson korelasyon katsayısı bulunmuştur. ($R > 0,97$, $p < 0,005$).

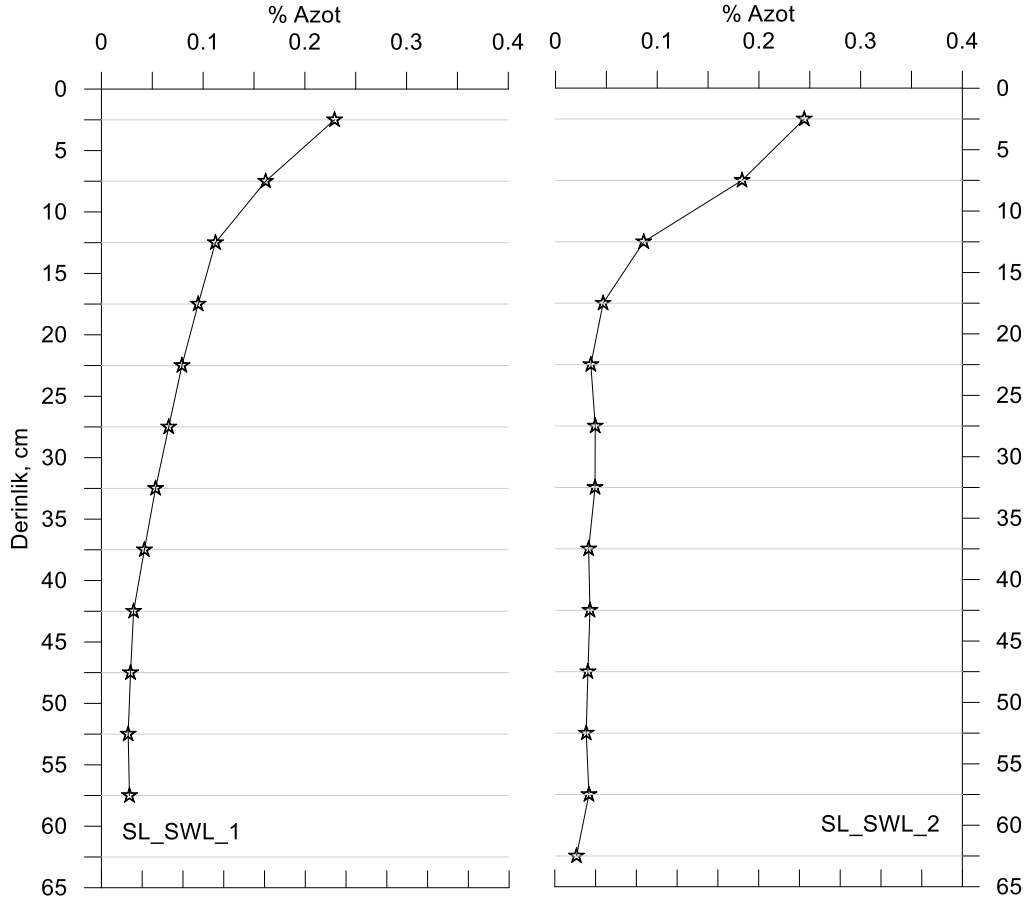
Geçici sulak alandan alınan korlardaki karbon yüzdelerinin derinliğe bağlı olarak değişimi Şekil 5.12’de görülmektedir.



Şekil 5.12 Geçici sulak alandan alınan SL_SWL_1 ve SL_SWL_2 sediment korundaki derinliğe bağlı C kompozisyonu (OC: +, TC: ●)

Korlardaki toplam karbon miktarı % 1,08 ile % 3,15 arasında değişmektedir. SL_SWL_1 korunda ortalama TC değeri % 1,78, SL_SWL_2 korunda ise % 1,61 olarak bulunmuştur. Alınan sediment numunelerinde karbon değerlerinin derinliğe bağlı olarak azaldığı görülmektedir. SL_SWL_1 korunda ilk 15 cm’de TC’un yaklaşık olarak % 95’inin OC olduğu ve 50 cm’den sonra % 10’un altına düştüğü görülmektedir. SL_SWL_2 korunda ilk 10 cm’de TC’un yaklaşık olarak % 80’inin OC olduğu ve 50 cm’den sonra % 20’nin altına düştüğü görülmektedir.

Geçici sulak alandan alınan korlardaki azot yüzdelerinin derinliğe bağlı olarak değişimi Şekil 5.13’de görülmektedir.



Şekil 5.13 Geçici sulak alandan alınan SL_SWL_1 ve SL_SWL_2 sediment korundaki derinliğe bağlı N kompozisyonu

Korlardaki TN değerleri % 0,021 ile %0,245 arasında değişmektedir. SL_SWL_1 korunda derinliğe bağlı TN azalması 40 cm'ye kadar devam etmektedir ve 40 cm'den sonra değişmemektedir. SL_SWL_2 korunda 15 cm'den daha derine inildikçe TN değerleri değişmemektedir. OC değerleri ve TN değerlerinin derinliğe bağlı olarak aynı eğilimi gösterdiği görülmektedir.

Geçici sulak alandan alınan iki kor numunesinde OC ile TN arasında anlamlı ilişki görülürken, TC ile TN arasındaki ilişki korlara göre değişmiştir. SL_SWL_1 korunda TC ile TN arasında anlamlı bir ilişki ($R=0,15$, $p>0,05$) bulunamazken, SL_SWL_2 korunda TC ile TN arasında anlamlı bir ilişki ($R=0,87$, $p<0,005$) gözlenmiştir. İlk kordaki inorganik karbonun derinliğe bağlı olarak artmasından dolayı toplam karbon ve toplam azot arasında ilişki bulunamamıştır. OC ile TN

arasındaki ilişkinin her iki korda da oldukça güçlü olduğu gözlenmiştir ($R=0,99$, $p<0.005$).

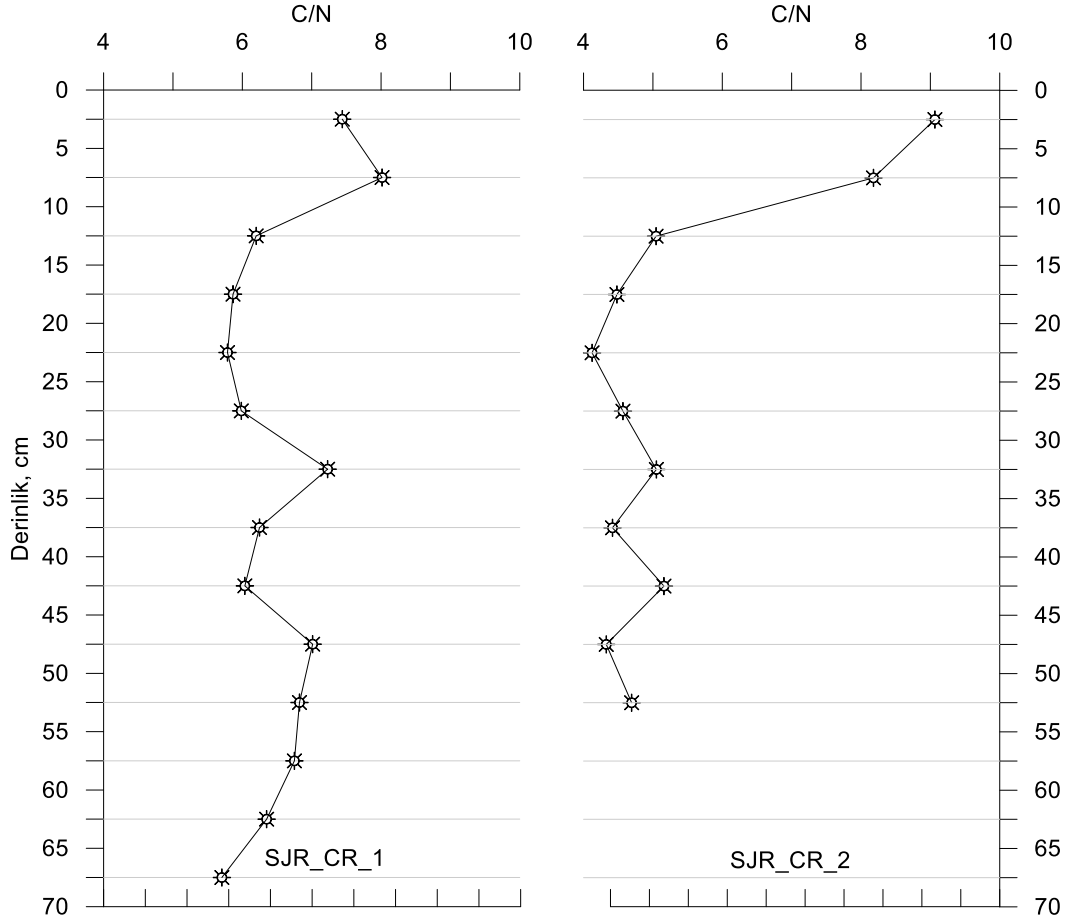
$\delta^{13}\text{C}$ izotopu sulak alana giren organik maddenin farklılığı için analizlenmiştir ve organik maddenin son ürünlerinin belirlenmesinde C/N oranı ile ilişkilendirilmiştir. Çizelge 5.4’de çeşitli materyallerin izotopik karbon aralığı verilmiştir.

Çizelge 5.4 Çeşitli materyallerin tipik $\delta^{13}\text{C}$ izotopik aralıkları

Kaynaklar	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Karasal C3 Bitkileri	-27 & -25 [105]
Karasal C4 Bitkileri	-15 & -12 [105]
Tatlısu Sucul Bitkileri	-43 & -12 [106]
Tatlısu Plankton	-42 & -24 [107]
Deniz algleri	-22 & -19 [105]

Sulak alan sedimentlerindeki C/N oranları aynı zamanda organik maddenin kaynağını belirlemek içinde kullanılır. Algler gibi nonvasküler bitkiler düşük C/N oranına (4 - 10) , karasal bitkiler ve sucul makrofitler gibi vasküler bitkiler daha yüksek C/N oranına sahiptir (> 10) [108].

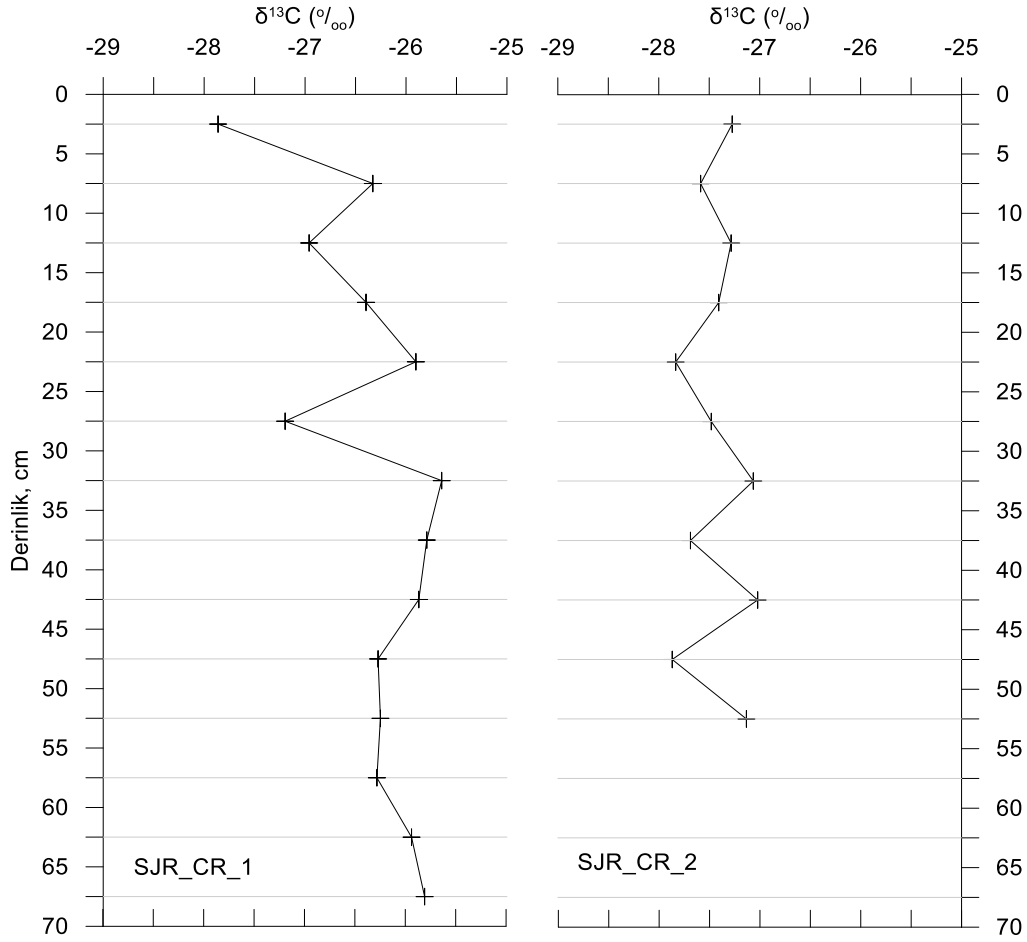
Şekil 5.14’de C/N oranının derinliğe bağlı olarak değişimi görülmektedir. C/N oranları nehir kıyısali alanında 4,1 ile 9,1 arasında değişmektedir. Devamlı olarak su altındaki alandan alınan korda C/N salınım yaparken, geçici olarak su altında bulunan alanda derinliğe bağlı olarak azalmaktadır.



Şekil 5.14 Nehir kıyısı alanındaki sedimentlerde C/N oranının derinliğe bağlı dikey profilleri

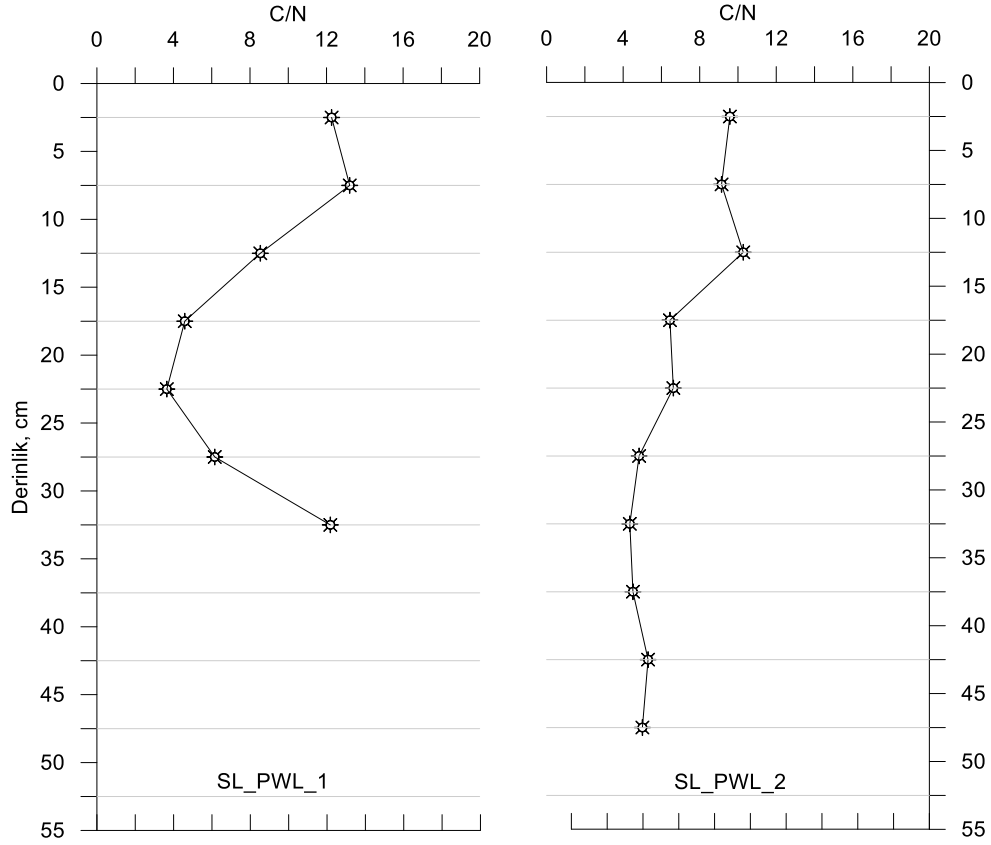
Şekil 5.15’de izotopik $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin derinliğe bağlı olarak değişimi görülmektedir.

Buna göre sulak alana giren organik maddenin 3 kaynağı olabilir. Bunlar; karasal C3 bitkileri, sucul bitkiler ve sucul planktonlardır. Devamlı ve geçici olarak su altında kalan korların izotopik değerlerine bakıldığında karbonun özellikle sucul bitki ve planktonlardan kaynaklandığı söylenebilir. Geçici olarak su altında kalan alandan alınan sediment korundaki izotopik C değerleri derinliğe bağlı olarak değişmemektedir. Devamlı sulak alandan alınan kor numunesinde ^{13}C değerleri maksimum -25,6 ile minimum -27,8 arasında değişmektedir. Geçici ve devamlı sulak alan karbon kaynaklarının sucul bitki-planktondan kaynaklandığı söylenebilir.



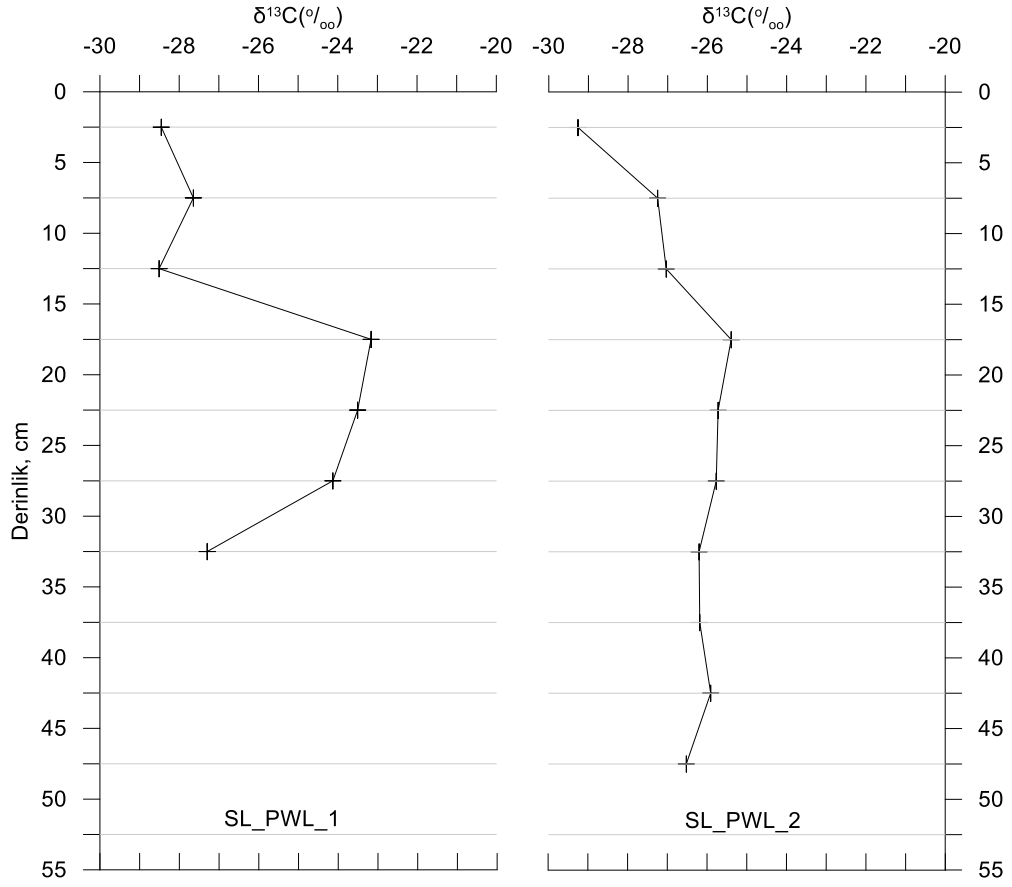
Şekil 5.15 Nehir kıyısal alanından alınan korlardaki $\delta^{13}\text{C}$ profilleri

Organik maddenin kararlı izotop değerleri deniz kaynaklarını çeşitli karasal kaynaklardan ayırmak için kapsamlı bir şekilde kullanılmaktadır (Çizelge 5.4). Organik maddenin kaynaklarını birbirinden farklılaştırmak için en çok kullanılan karbon izotop oranları ($\delta^{13}\text{C}$)'dır. Çünkü ^{13}C izotopu N ve S izotoplarına göre sucul ve metamorfolojik biyojeokimyasal süreçlerden daha az etkilenmektedir. $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin artması ve C/N oranının azalması ortamdaki üretkenliğin arttığını ve oksijen yetmezliği oluştuğunu göstermektedir. Ortama giren nütrient miktarı arttığında organik karbon birikimi ve üretim artmaktadır. Üretimin yükselmesi ile birlikte ortamda hipoksi oluşmaktadır. San Joaquin Nehri UYKA'ndaki nütrient ve partikül organik maddenin birincil kaynağı yakındaki tarımsal alanlardan gelen akıştır.



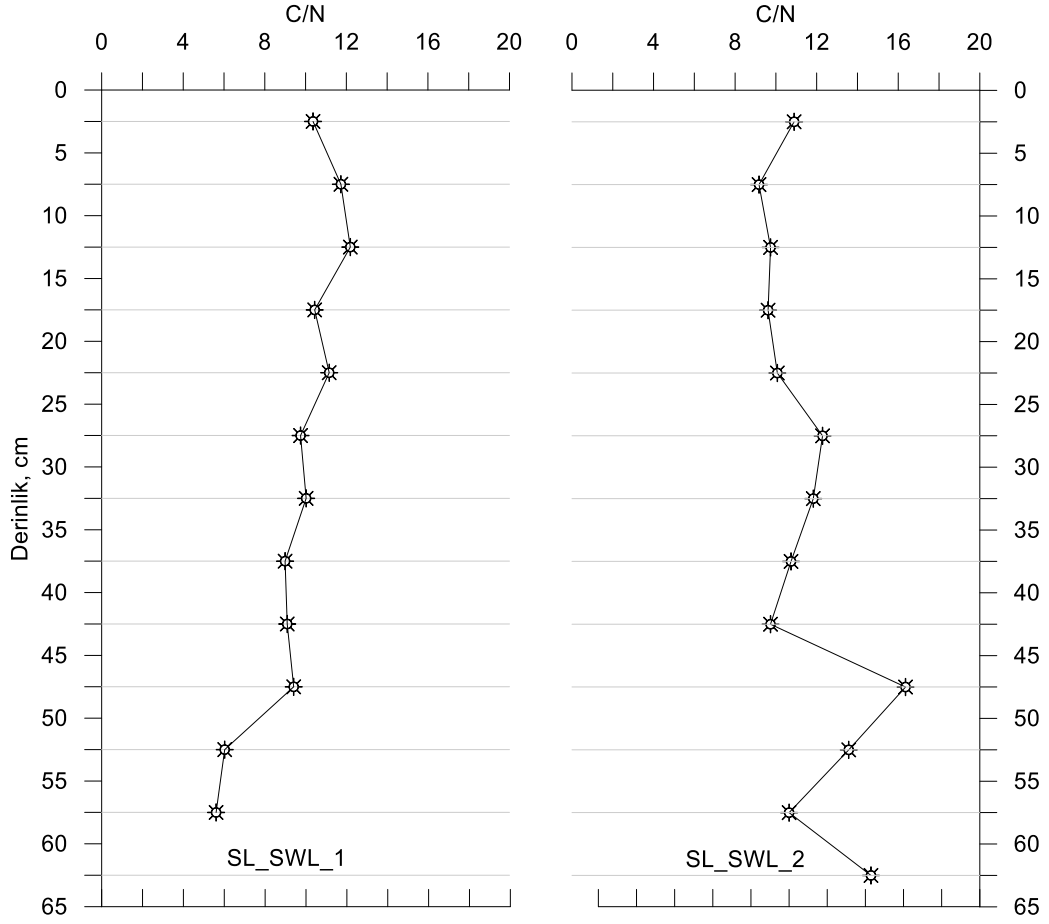
Şekil 5.16 Devamlı sulak alandaki sedimentlerde C/N oranının derinliğe bağlı dikey profilleri

Şekil 5.16 ve 5.17’de devamlı sulak alanın giriş ve çıkışından alınan 2 korda C/N ve $\delta^{13}\text{C}$ dikey profilleri görülmektedir. SL_PWL_1 korunda 10 ile 30 cm arasında C/N oranlarının azaldığı, $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinde pozitif yönde artış görülmüştür. Genellikle, C/N oranının düşük olması ortamda alg ve bakterilerin olması ile ilişkilendirilir ve organik maddenin değişken (labile) olduğunu gösterir [109]. SL_PWL_2 korunda C/N değerlerinin ilk 15 cm’de değişmediği, 15 ile 30 cm arasında derinliğe bağlı olarak azaldığı görülmektedir. 30 cm’den daha derine inildiğinde ise C/N oranının değişmediği görülmektedir.



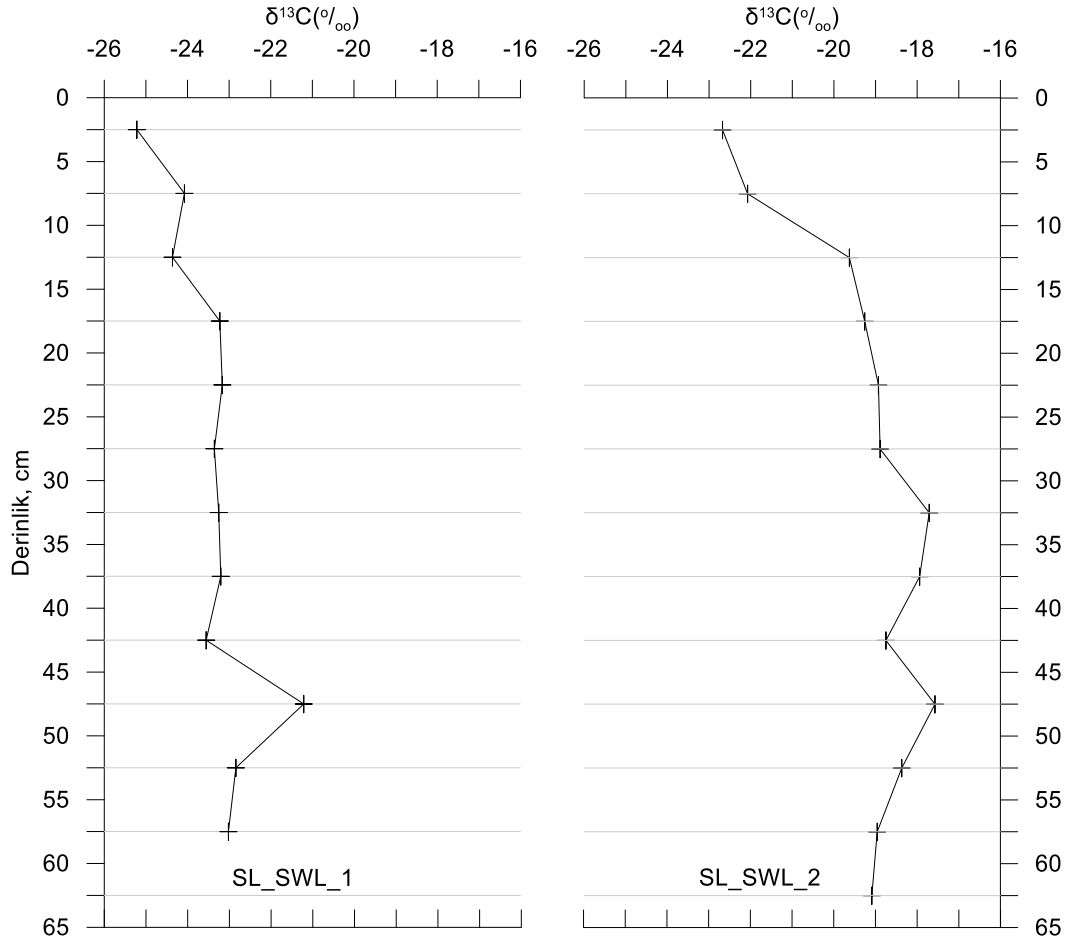
Şekil 5.17 Devamlı sulak alandan alınan korlardaki $\delta^{13}\text{C}$ profilleri

İki korda da $\delta^{13}\text{C}$ değerleri derinliğe bağlı olarak pozitif yönde kayma göstermiştir.



Şekil 5.18 Geçici sulak alandaki sedimentlerde C/N oranının derinliğe bağlı dikey profilleri

Şekil 5.18 ve şekil 5.19’da geçici sulak alan korlarındaki C/N ve $\delta^{13}\text{C}$ değerleri görülmektedir. İki korda aynı alandan alınmasına rağmen, C/N oranları birbirinden farklıdır. SL_SWL_1 korunda C/N değerleri 5 ile 12 arasında değişirken, SL_SWL_2 korunda 9 ile 16 arasında değişmektedir. SL_SWL_1 korunda 20 cm’den sonra ortamdaki üretkenliğin arttığı ve anoksik koşulların olduğu görülmektedir.

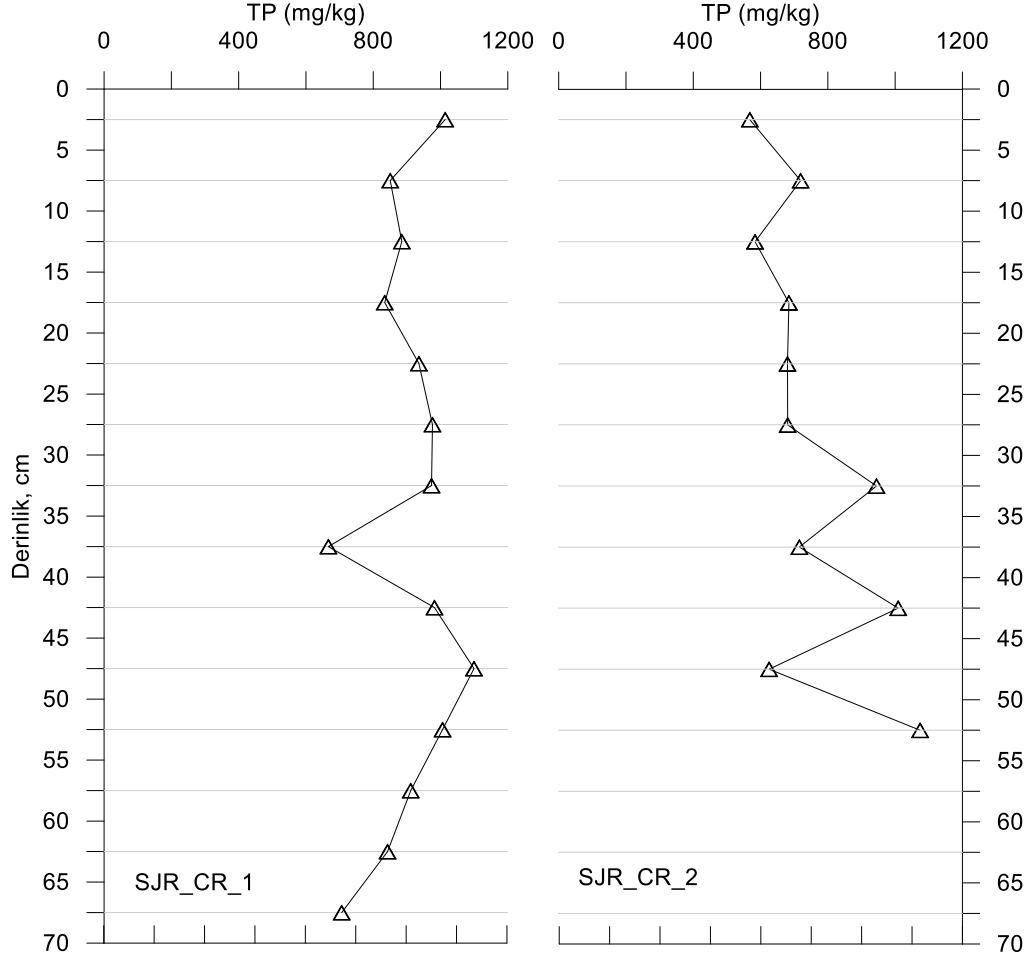


Şekil 5.19 Geçici sulak alandan alınan korlardaki $\delta^{13}\text{C}$ profilleri

SL_SWL_2 korunda $\delta^{13}\text{C}$ değerleri diğer korlara göre farklı bulunmuştur. Literatürdeki değerlere göre karbon girişlerinin diğer alanlardan farklı olarak sadece tatlısu sucul bitkilerinden gelebileceği görülmektedir.

5.4. Sediment Korlarında Fosfor Birikimi

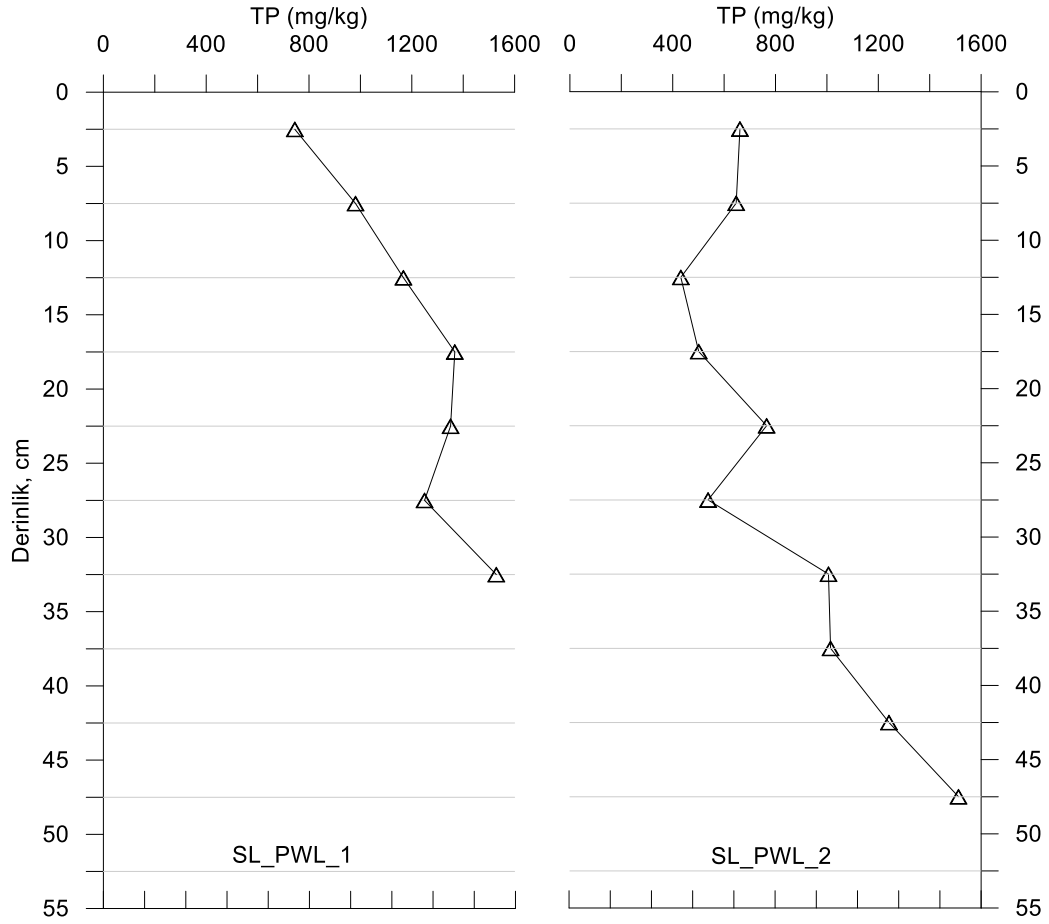
Şekil 5.20’de nehir kıyısalı sulak alanından alınan korlardaki toplam fosfor (TP) derişimlerinin derinliğe bağılı değışimi görülmektedir.



Şekil 5.20 Nehir kıyısalı alanındaki sedimentlerde toplam fosforun derinliğe bağılı dikey profilleri

Nehir kıyısalı sulak alanında devamlı bölgeden alınan korda TP değeri 660-1100 mg/kg arasında değışirken, geçici olarak su altında bulunan kısımdan alınan korda 550-1080 mg/kg arasında değışmektedir. Ortalama olarak fosfor birikiminin devamlı sulak alanda daha yüksek olduğı görülmektedir. Korlardaki derinliğe bağılı TP artışının yüzeyden kum horizonları ile birlikte daha dip noktalara taşındığını söylemek mümkündür [45]. Bu korlarda yapılan partikül boyut analizinde yaklaşık kum içeriğı % 85 (geçici) ve % 80 (devamlı) olarak bulunmuştur.

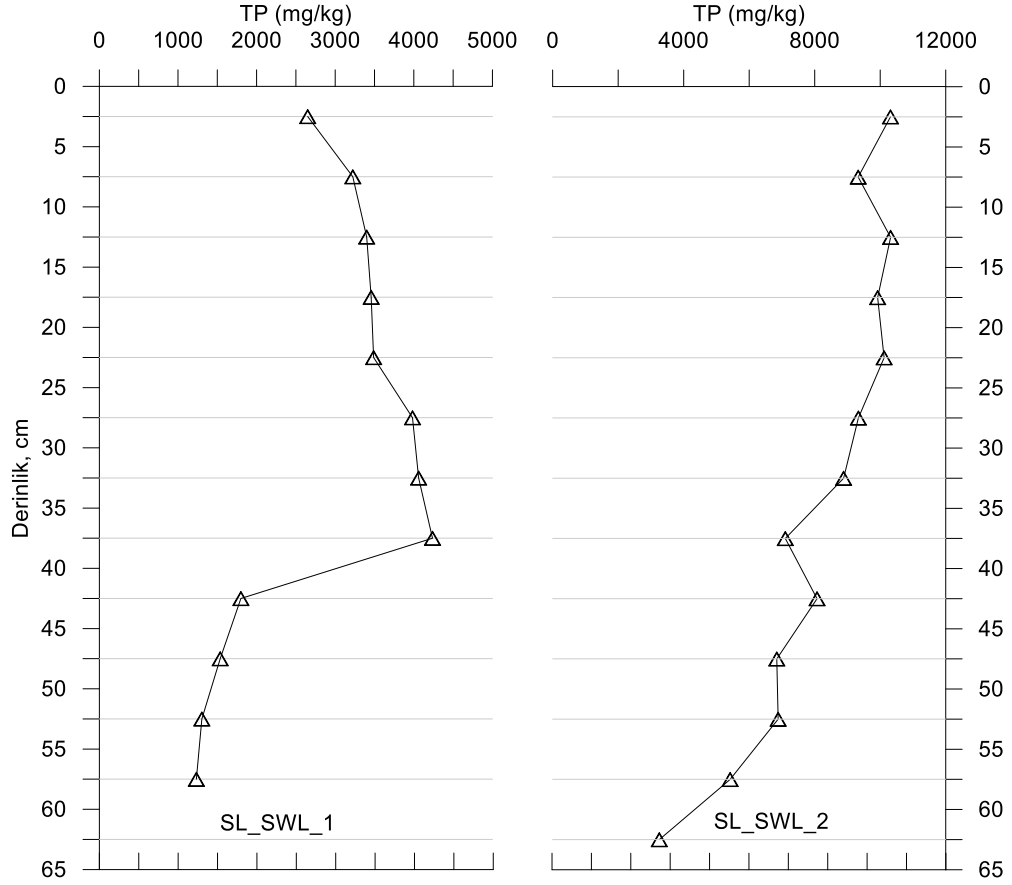
Şekil 5.21’de San Luis devamlı sulak alanının giriş ve çıkışından alınan korlardaki TP derişimlerinin derinliğe bağılı değışimi görölmektedir.



Şekil 5.21 Devamlı sulak alandan alınan sedimentlerde toplam fosforun derinliğe bağılı dikey profilleri

Devamlı sulak alan korlarındaki TP değerleri derinliğe bağılı olarak artmaktadır. Nehir kıyısıalı alanına göre korlardaki % kil içeriği yüzey zonlarında yaklaşık 4 kat, derin zonlarda 6 kat artmıştır. Yüzeydeki kum zonları ile taşınan P derin zonlarda killerde tutulmaktadır [45]. TP değerlerine bakıldığında OM ile aynı eğilimi gösterdiği görölmektedir.

Şekil 5.22’de San Luis geçici sulak alandan alınan korlardaki TP derişimlerinin derinliğe bağılı değışimi görölmektedir.



Şekil 5.22 Geçici sulak alandan alınan sedimentlerde toplam fosforun derinliğe bağlı dikey profilleri

Geçici sulak alan sedimentlerinin TP değerlerinin diğer iki alana göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Devamlı sulak alanın tersine fosfor birikimleri derinliğe bağlı azalmaktadır.

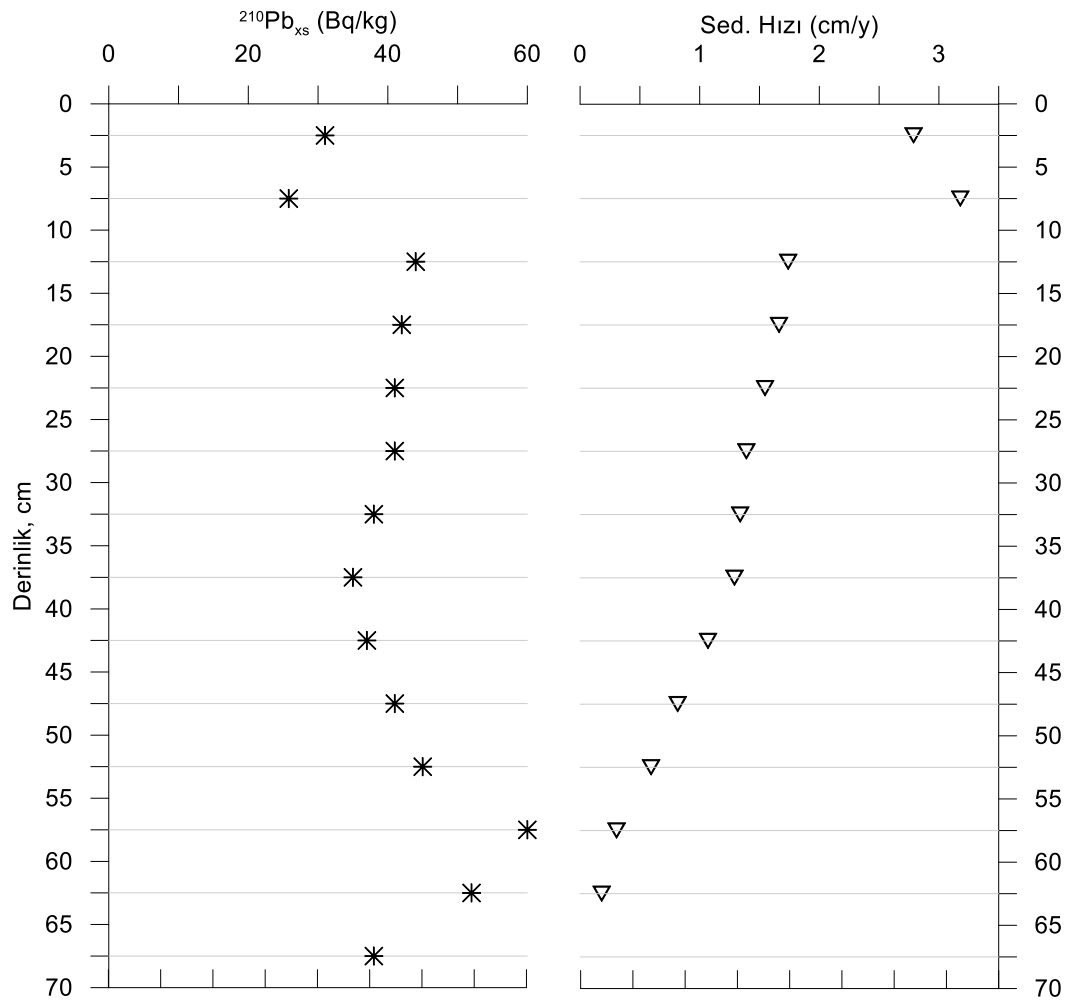
Sulak alan topraklarındaki fosfor birikiminin karakterizasyonu genellikle organik madde karakterizasyonu ile beraber değerlendirilir. Sulak alan ekosistemlerinde toplam fosfor birikiminde organik fosfor toprak fosforunun % 50'sinden daha fazla kısmını oluşturduğu için baskın olarak değerlendirilir [110].

Gübre ve bozunmuş bitki formundaki yüksek organik madde derişimleri yüzey topraklarında fosforun kullanılabilirliğini artırır. Çünkü, organik maddeden oluşan organik anyonlar fosfor ile birlikte aynı davranışı gösterirler [111].

5.5. Sedimentasyon Hızı

Nehir kıyısalı alanındaki devamlı ve geçici olarak su altında bulunan korlarındaki denge üstü ^{210}Pb , doğrusal ve kütle sediment birikim hızı değerleri Ek 3. Çizelge 1 ve Çizelge 2’de görülmektedir.

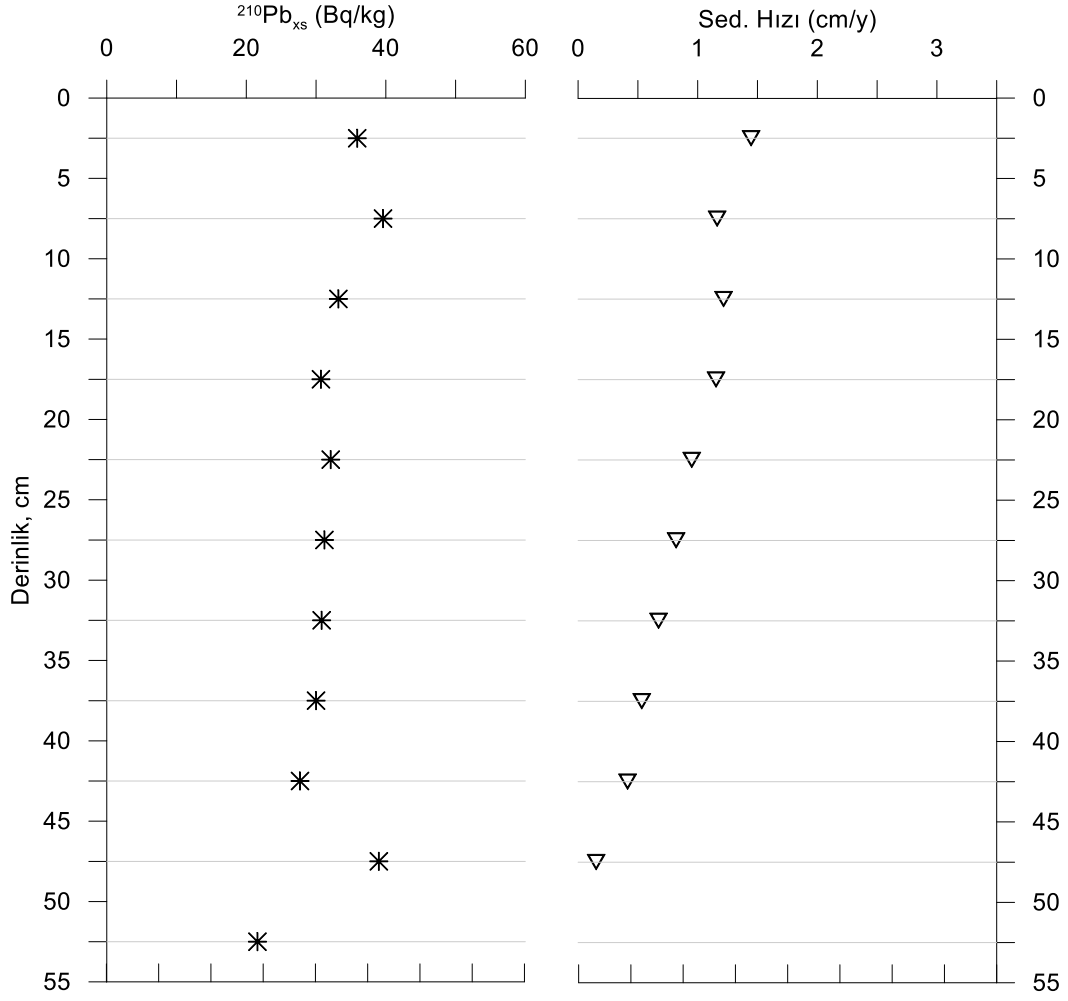
Nehir kıyısalı devamlı alanından Kasım ayında alınan sediment numunesinde derinliğe bağlı denge üstü ^{210}Pb aktivite ve sedimentasyon hızı değerleri Şekil 5.23’de görülmektedir.



Şekil 5.23 Nehir kıyısalı devamlı alanındaki sediment korunda (SJR_CR_1) ^{210}Pb ve doğrusal sedimentasyon hızının derinliğe bağlı dikey profilleri

Denge üstü ^{210}Pb aktivite değerlerinde derinliğe bağlı çok değişim gözlenmezken, maksimum değerin (60 Bq/kg) 55-60 cm arasındaki sediment numunesinde olduğu gözlenmiştir. Aktivite değerleri 25,8 ile 40,8 arasında değişmektedir. Aktivite değerlerine bağlı olarak hesaplanan sedimantasyon hızı derinliğe bağlı olarak azalmaktadır. Maksimum birikim hızı ilk 10 cm’de görülmüştür. CRS modeli ile hesaplanan sedimantasyon hızı kor boyunca 3,18 ile 0,18 cm/y arasında değişmektedir. 2006 yılında, alanın çıkışında kum yığınının oluşmasından sonra, nehir kıyısalı alanına dönüşmüştür. 2006 yılından 2011 yılına kadar çok hızlı bir birikim olduğu görülmektedir. 1988 ile 2006 yılları arasında sedimantasyon hızının sabit kaldığı yaklaşık olarak 1,43 cm/y olduğu hesaplanmıştır. 1988 tarihinden önceki hesaplamalarda sedimantasyon hızının azalarak en düşük hızın 1925 yılında olduğu görülmektedir.

Nehir kıyısalı geçici olarak su altında bulunan alandan Kasım ayında alınan sediment numunesinde derinliğe bağlı denge üstü ^{210}Pb aktivite ve sedimantasyon hızı değerleri Şekil 5.24’de görülmektedir.

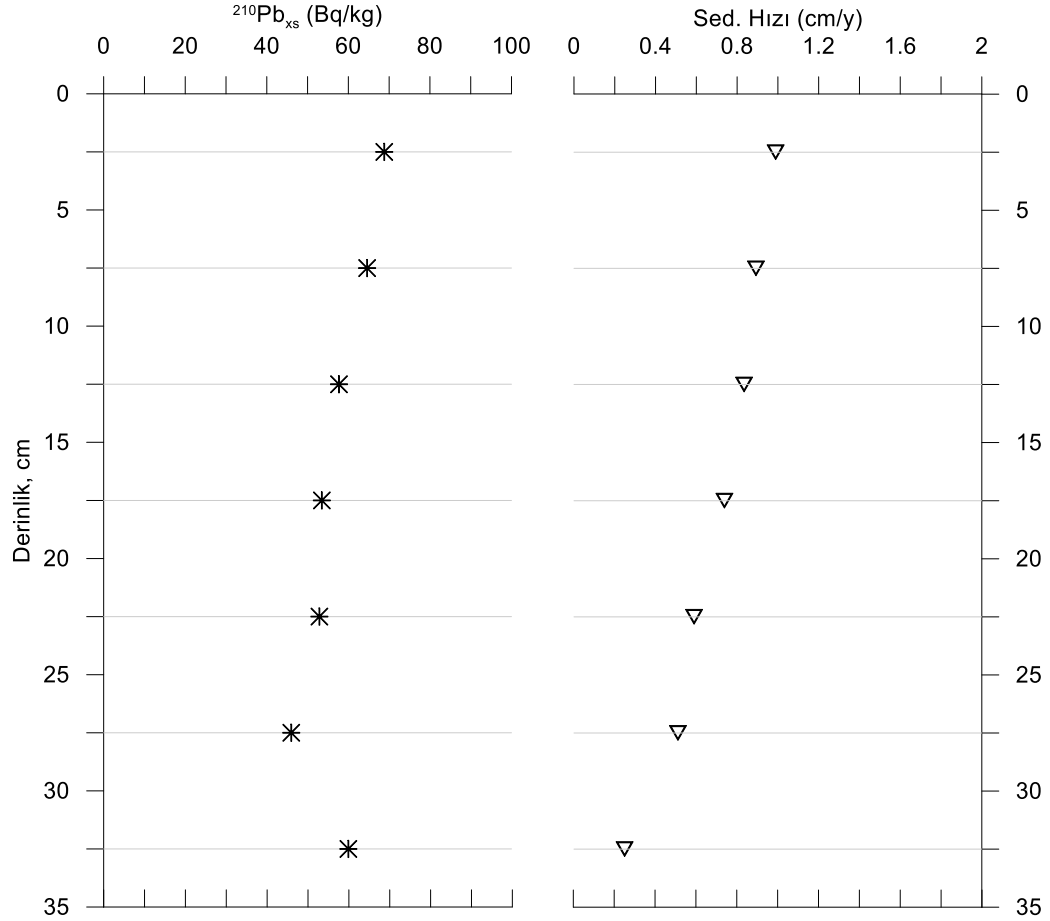


Şekil 5.24 Nehir kıyasalı geçici alanındaki sediment korunda (SJR_CR_2) ^{210}Pb ve doğrusal sedimantasyon hızının derinliğe bağlı dikey profilleri

Geçici olarak su altında bulunan alanda kurşun aktivite değerlerinin derinliğe bağlı değişmediği görülmektedir. Aktivite değerleri 21,6 ile 32 Bq/kg arasında değişmektedir. Maksimum aktivite değeri 47,5 cm’de ölçülmüştür. Devamlı olarak su altında bulunan alana göre sedimantasyon hızları daha düşüktür. Maksimum sedimantasyon hızı ilk 5 cm’de hesaplanmıştır. 5 ile 20 cm arasında değerlerin sabit olarak kaldığı ve 20 cm’den sonra sedimantasyon hızının azaldığı görülmektedir.

Devamlı sulak alandan alınan alınan korlardaki denge üstü ^{210}Pb , doğrusal ve kütle sediment birikim hızı değerleri Ek 3. Çizelge 3 ve 4’de görülmektedir.

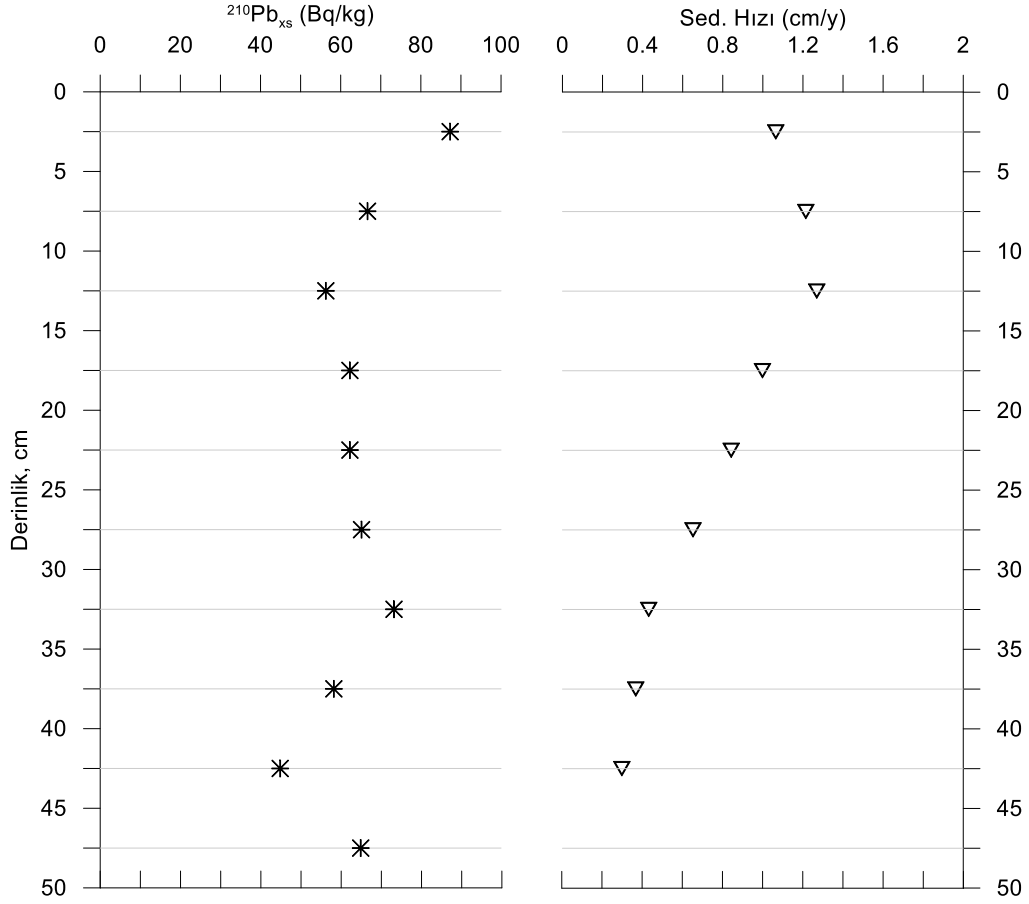
Devamlı sulak alanın girişinden alınan sediment korunda derinliğe bağlı denge üstü ^{210}Pb aktivite ve sedimantasyon hızı değerleri şekil 5.25’de görülmektedir.



Şekil 5.25 Devamlı sulak alandan alınan SL_PWL_1 sediment korundaki ^{210}Pb ve doğrusal sedimantasyon hızının derinliğe bağlı dikey profilleri

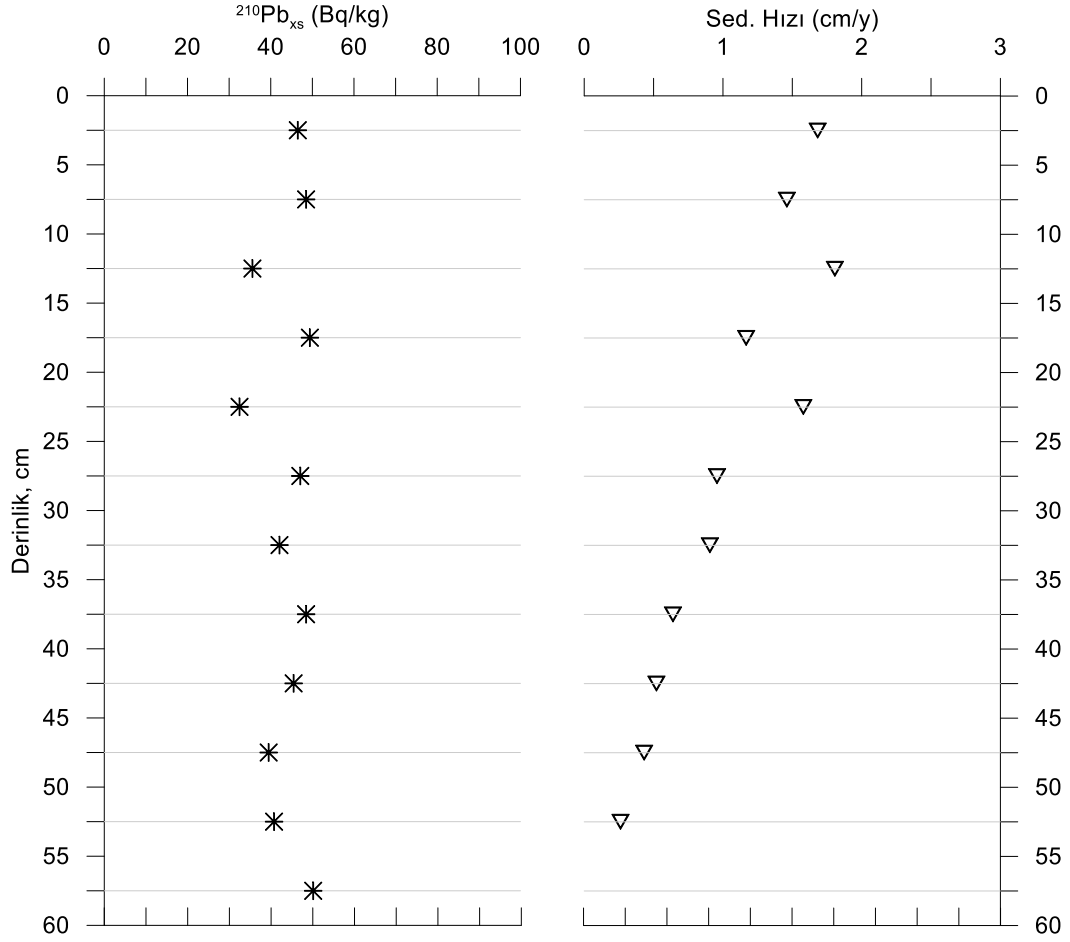
Giriş korunda, Pb akitivite değerleri derinliğe bağlı anlamlı bir değişim göstermemiştir. Bu değerlere bağlı olarak hesaplanan sedimanstasyon hızı değerleri de kor boyunca 46,0 ile 68,8 arasında değişmektedir. En yüksek sedimantasyon hızı yüzeyde bulunmuştur. Ancak kor boyunca sedimantasyon hızı çok değişmemiştir. Ortalama olarak yılda 0,69 cm sediment birikmektedir.

Devamlı sulak alanın çıkışından alınan sediment korunda derinliğe bağlı denge üstü ^{210}Pb aktivite ve sedimantasyon hızı değerleri şekil 5.26’da görülmektedir.



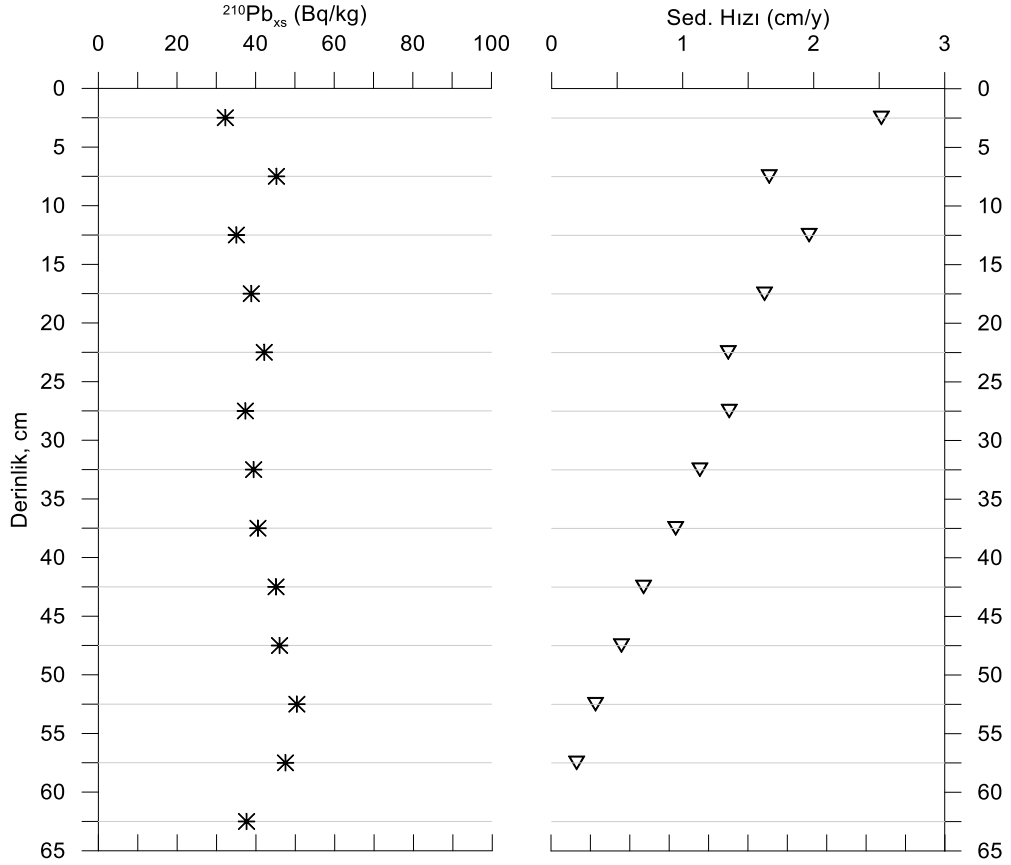
Şekil 5.26 Devamlı sulak alandan alınan SL_PWL_2 sediment korundaki ^{210}Pb ve doğrusal sedimantasyon hızının derinliğe bağlı dikey profilleri

CRS modeline göre hesaplanan sedimantasyon hızı ilk 15 cm’de artış gösterirken, 15 cm’den sonra azalmaya başlamıştır. Ortalama sedimantasyon hızı değeri 0,79 cm/yıl’dır. Geçici sulak alandan alınan korlardaki denge üstü ^{210}Pb , doğrusal ve kütle sediment birikim hızı değerleri Ek 3. Çizelge 5 ve 6’da görülmektedir. Geçici sulak alandan alınan SL_SWL_1 sediment korunda derinliğe bağlı denge üstü ^{210}Pb aktivite ve sedimantasyon hızı değerleri Şekil 5.27’de görülmektedir.



Şekil 5.27 Geçici sulak alandan alınan SL_SWL_1 sediment korundaki ^{210}Pb ve doğrusal sedimantasyon hızının derinliğe bağlı dikey profilleri

Geçici sulak alandan alınan korlarda kurşun aktivite değerlerinin derinliğe bağlı değişiminde anlamlı bir ilişki görülmemiştir. Geçici sulak alandan alınan sediment korunda derinliğe bağlı denge üstü ^{210}Pb aktivite ve sedimantasyon hızı değerleri Şekil 5.28’de görülmektedir.



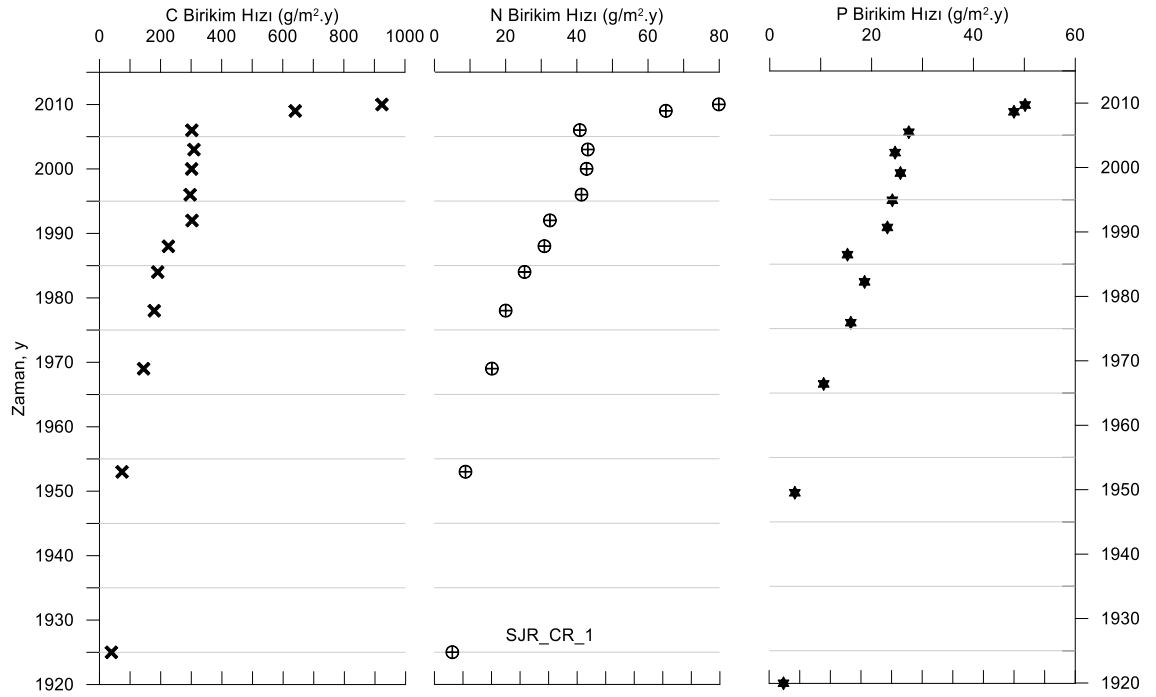
Şekil 5.28 Geçici sulak alandan alınan SL_SWL_2 sediment korundaki ^{210}Pb ve doğrusal sedimantasyon hızının derinliğe bağlı dikey profilleri

Geçici sulak alandan alınan iki sediment korunda derinliğe bağlı sedimantasyon hızı azalmaktadır. Başlangıçtaki sedimantasyon hızı değerleri iki korda da farklıdır. SL_SWL_1 korunda ortalama sedimantasyon hızı 1,04 cm/y iken, SL_SWL_2 korunda ortalama sedimantasyon hızı 1,19 cm/y olarak birbiri ile çok yakın olduğu görülmüştür.

3 farklı alandan alınan sediment korlarında en yüksek sediment birikimi nehir kıyısı alanındaki devamlı olarak su altında olan alanda bulunmuştur. Nehir kıyısı ve geçici sulak alanda birikim hızının birbirine yakın olduğu ve devamlı sulak alanda birikim hızının diğer iki alana göre daha düşük olduğu görülmektedir.

5.6. Karbon, Azot, Fosfor Birikimi

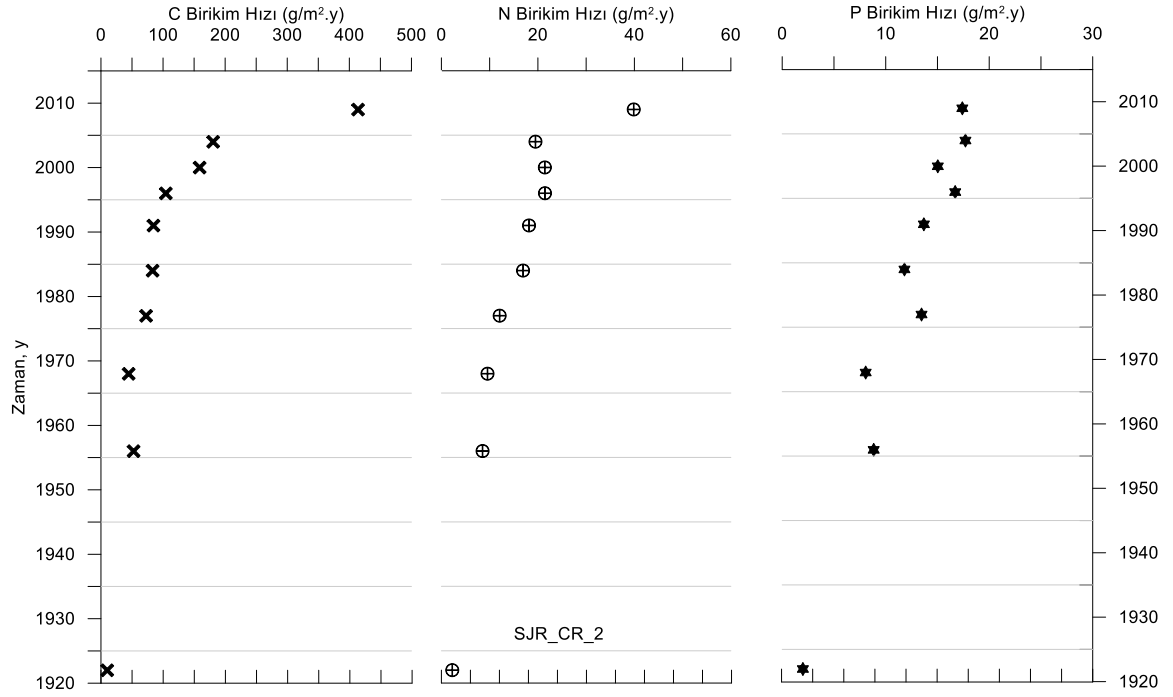
Sulak alanların yararlarından biri sedimentleri tutarak, karbon, azot ve fosfor n trientlerinin ayrışmasını ve alıcı ortamın su kalitesinin iyileştirilmesini sağlamaktır. Şekil 5.29 ve 5.30’da nehir kıyısulak alanından alınan korlardaki karbon (C), azot (N), fosfor (P) birikim hızları görülmektedir. Devamlı olarak su altında kalan karbon birikim hızı 2005 yılından 2012 yılına kadar yaklaşık 4 kat artmıştır. Bu alanın 2005 yılından sonra özellikle yüksek oranda tarımsal akış aldığı bilinmektedir. Yaklaşık olarak 1990 yılından 2005 yılına kadar karbon birikim hızında değişiklik olmazken, 1990 yılından daha önceki zaman dilimlerinde karbon birikim hızı azalmıştır. Geçici olarak su altında kalan alanda karbon birikim hızları devamlı olarak su altında kalan alana göre daha düşüktür. Ancak, 2012 ile 2005 yılları arasında C birikim hızı yaklaşık olarak 2 kat artmıştır.



Şekil 5.29 Nehir kıyısulak alanından alınan SJR_CR_1 sediment korundaki C, N, P birikim hızının zamana bağlı dikey profilleri

Devamlı sulak alandaki azot ve fosfor birikim hızları dikey profilleri karbon birikim hızı profiline benzemektedir. N birikim hızı 2005 yılı ile 2012 yılı arasında

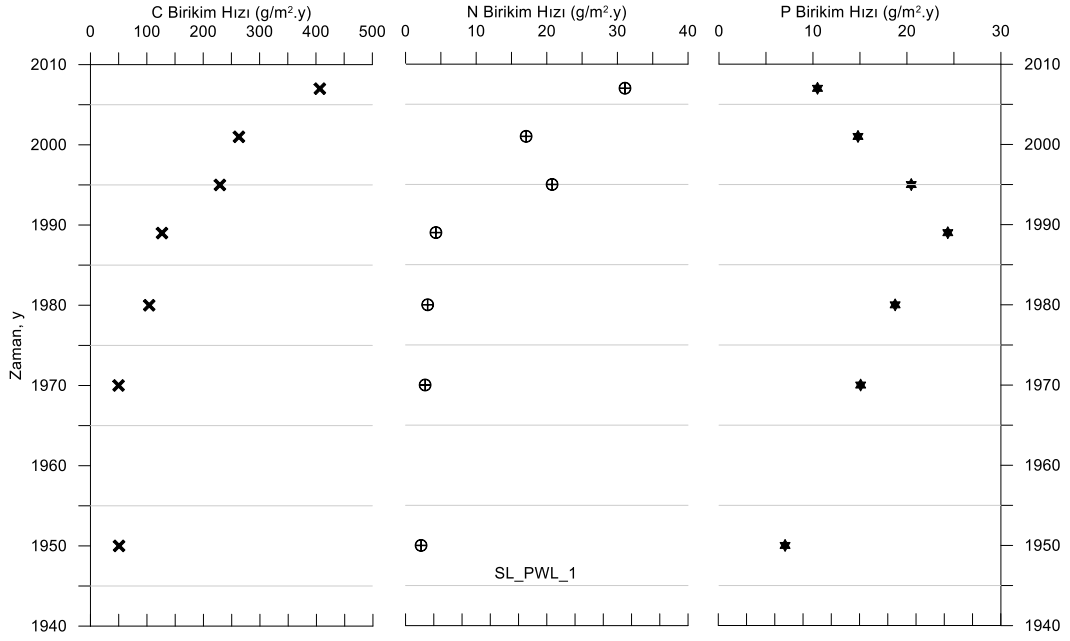
40 g/m².y'dan 80 g/m².y'a artmaktadır. Fosfor birikim hızı ise 2005 yılından 2012 yılına kadar yaklaşık olarak 3 kat artarak 60 g/m².y'a ulaşmıştır.



Şekil 5.30 Nehir kıyısından alınan SJR_CR_2 sediment korundaki C, N, P birikim hızının zamana bağlı dikey profilleri

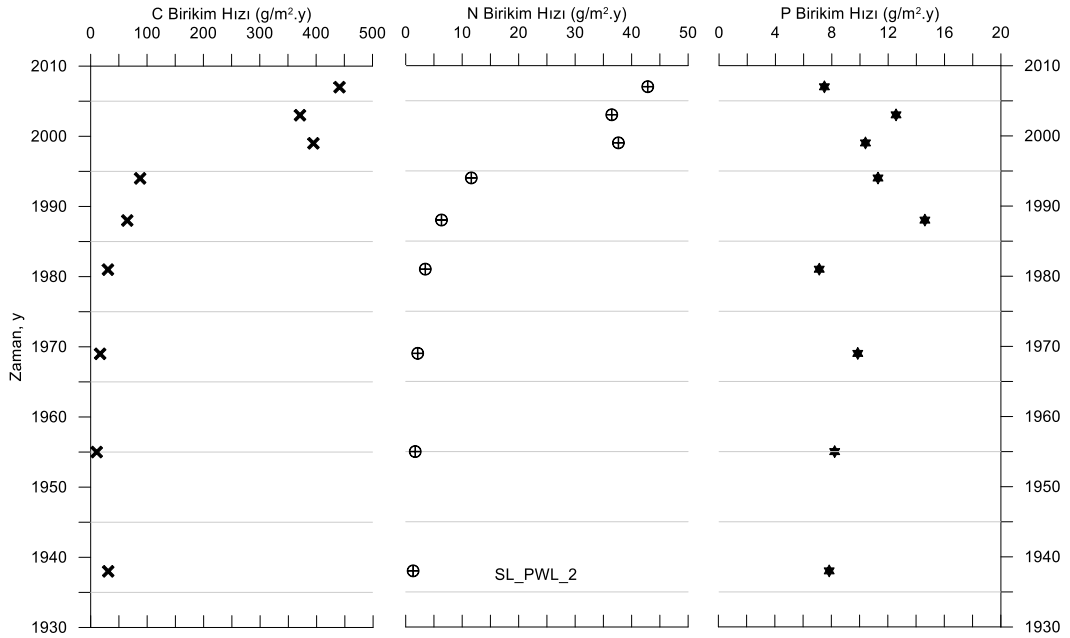
Geçici sulak alandaki azot birikim hızları karbon birikim hızları ile aynı eğilimi gösterirken, fosfor birikim hızının 2005 yılı ile 2012 yılı arasında değişmeden kaldığı görülmektedir.

Şekil 5.31 ve 5.32'de devamlı sulak alandan alınan korlardaki karbon, azot, fosfor birikim hızları görülmektedir. Korların yüzeyindeki ilk 5 cm'de karbon birikim hızları yaklaşık olarak 425 g/m².y olarak bulunmuştur ve derinliğe bağlı olarak azalmıştır. Nehir kıyısali alanındaki devamlı olarak su altında bulunan alana göre karbon birikim hızları daha düşüktür. Bu da nehir kıyısali alanı sulama mevsiminde yoğun olarak tarımsal akış alırken, San Luis devamlı sulak alanları restore sulak alanlar olarak işletilmekte, tarlalardan gelen akış direk sulak alana girmeden kanallarda toplanarak sulak alanlara dağıtılmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.31 Devamlı sulak alandan alınan SL_PWL_1 sediment korundaki C, N, P birikim hızının zamana bağlı dikey profilleri

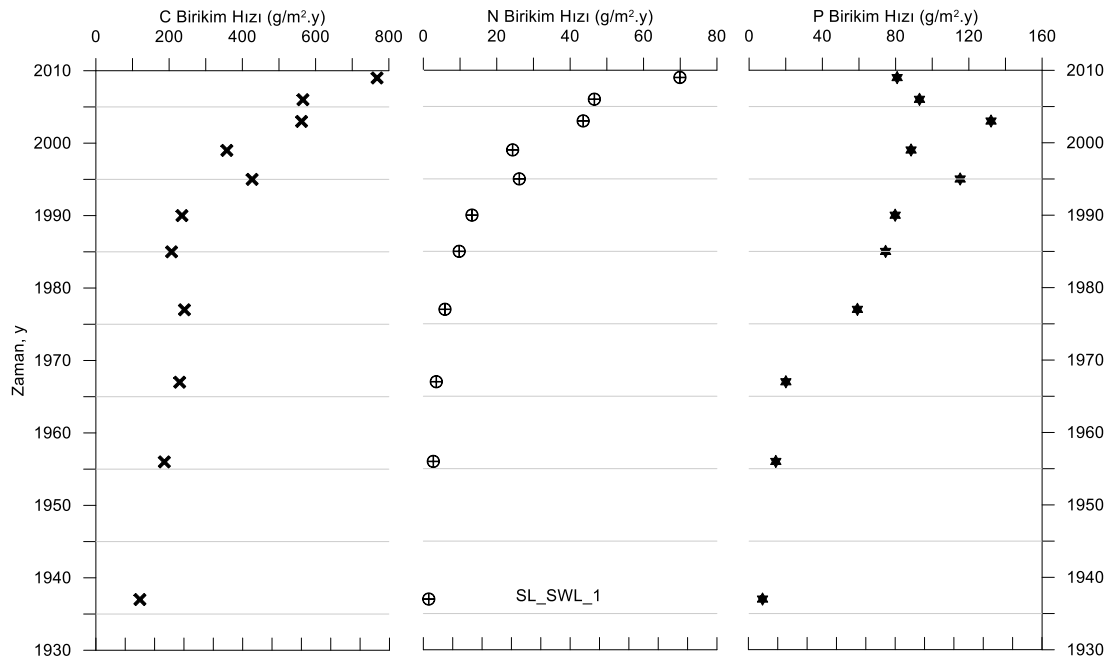
Alınan iki kordaki N birikim hızlarının derinliğe bağlı değişimi benzeşim göstermektedir. Fakat 2. kordaki yüzeyde azot birikim hızının ilk kora göre daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 5.32 Devamlı sulak alandan alınan SL_PWL_2 sediment korundaki C, N, P birikim hızının zamana bağlı dikey profilleri

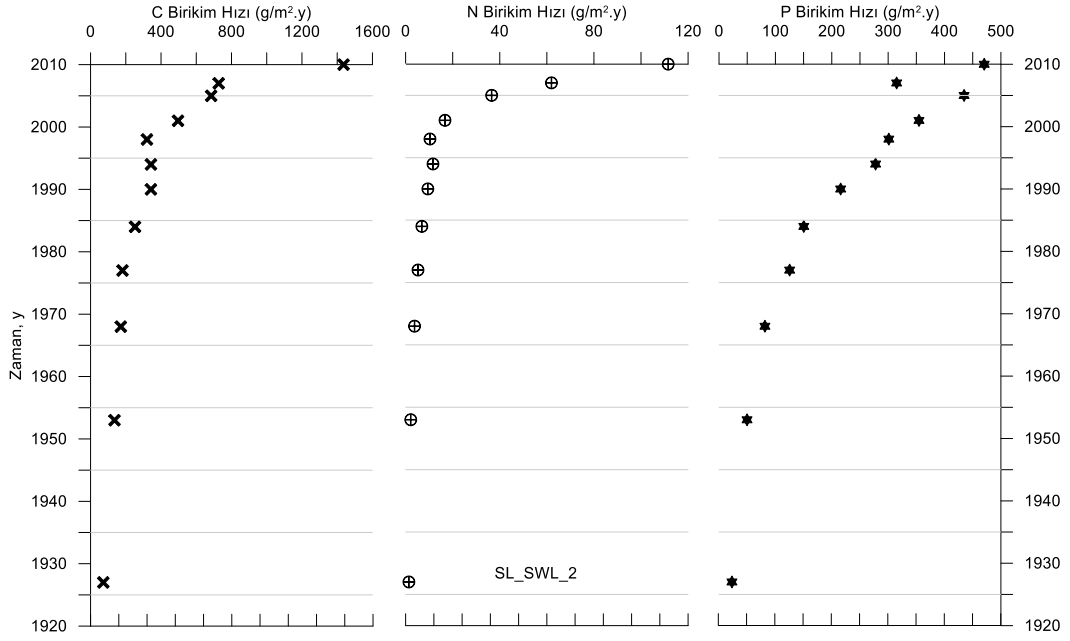
Devamlı sulak alan korlarındaki P birikim hızları 2012 ile 1990 yılları arasında artış eğilimi gösterirken, 1990 yılından daha önceki tarihlerde SL_PWL_1 korunda azalma eğilimi göstermiştir. SL_PWL_2 korunda 1980 yılından önceki tarihlerde değişim görülmemektedir.

Şekil 5.33 ve 5.34’de geçici sulak alandan alınan korlardaki karbon, azot ve fosfor birikim hızları görülmektedir.



Şekil 5.33 Geçici sulak alandan alınan SL_SWL_1 sediment korundaki C, N, P birikim hızının zamana bağlı dikey profilleri

Geçici sulak alandan alınan ilk korda (SL_SWL_1) karbon birikim hızı 800 g/m².y olarak devamlı sulak alanın yaklaşık olarak iki katı bulunmuştur. İkinci korda ise yüzeydeki karbon birikim hızı oldukça yüksektir. San Luis'teki geçici sulak alanlar kontrollü bir şekilde sadece sulama mevsiminde fazla gelen suyun verildiği, diğer mevsimlerde kuru olan alanlardır. Bu sebeple yüzeydeki karbon değerleri yüksek bulunduğu için birikim hızı da yüksek bulunmuştur. Ayrıca, ilk alınan kor geçici sulak alanın çıkış kısmında üzerinde su bulunmadığı Mayıs ayında alınmıştır. İkinci kor ise geçici sulak alandaki hayvanların otlatıldığı yüksek alan kısmından alınmıştır. Bu sebeple karbon birikim hızı dönemsel olarak hayvanların en çok otlatıldığı zamana denk geldiği için yüksek bulunmuş olabilir.



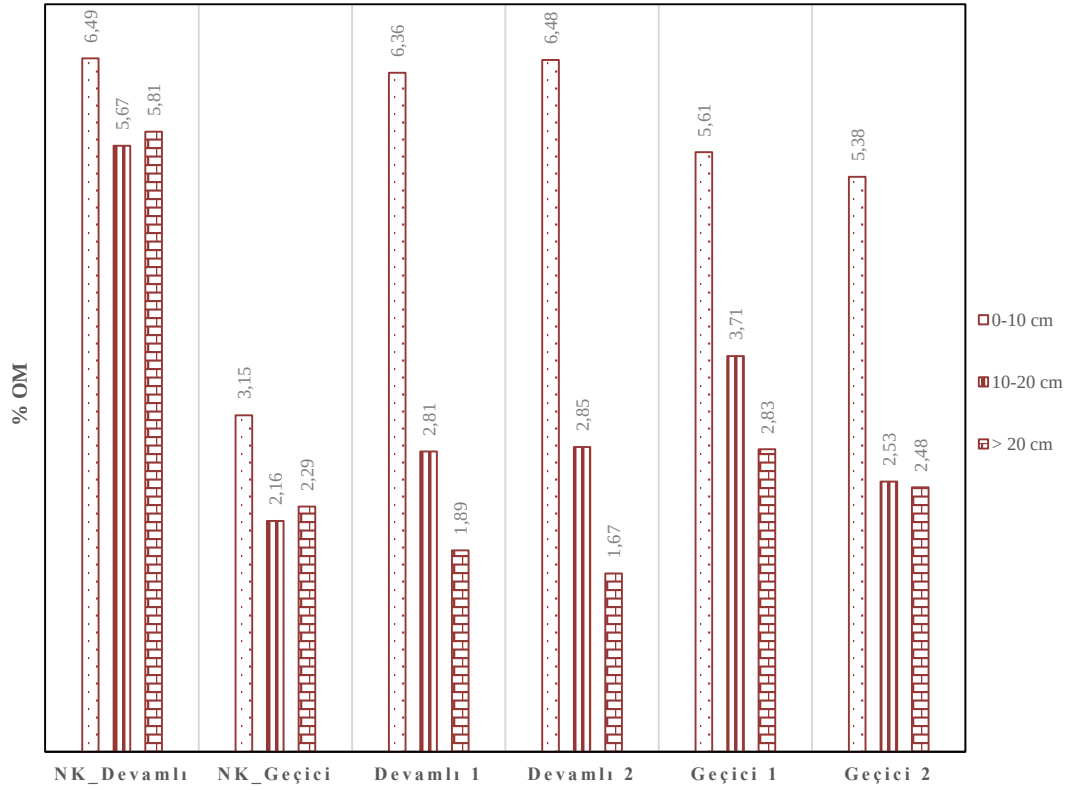
Şekil 5.34 Geçici sulak alandan alınan SL_SWL_2 sediment korundaki C, N, P birikim hızının zamana bağlı dikey profilleri

Aynı şekilde azot birikim hızları devamlı sulak alan korlarına göre daha yüksek bulunmuştur. Fosfor birikim hızları ise ilk korda 2005 yılı ile 2012 yılı arasında artarken, 2005 yılından 1975 yılına kadar azalma göstermiş ve bu tarihten daha önceki tarihlere kadar değişim göstermemiştir. Geçici sulak alanın yüksek alan kısmından alınan korda fosfor birikim hızı yüzeyde oldukça yüksektir ve derinliğe bağlı olarak azalmaktadır.

6. DEĞERLENDİRME

San Joaquin ve San Luis Ulusal Yaban Hayatı Koruma Bölgesinden alınan sediment korlarının, yüzey zonu (ilk 10 cm), kök zonu (10-20 cm) ve derin zonda (> 20 cm) organik madde, karbon, azot, fosfor birikimleri alan bazında değerlendirilmiştir. Aynı şekilde sediment birikim hızı, karbon, azot ve fosfor birikim hızları zonlara göre farklı alanlar için değerlendirilmiştir.

Sulak alanlardaki organik madde içeriği yüzey, kök ve derin zon olmak üzere üç farklı zonda incelenmiş olup ve Şekil 6.1’de gösterilmektedir.



Şekil 6.1 Sulak alanlardan alınan farklı sediment korlarındaki OM'nin zonlara göre dağılımı

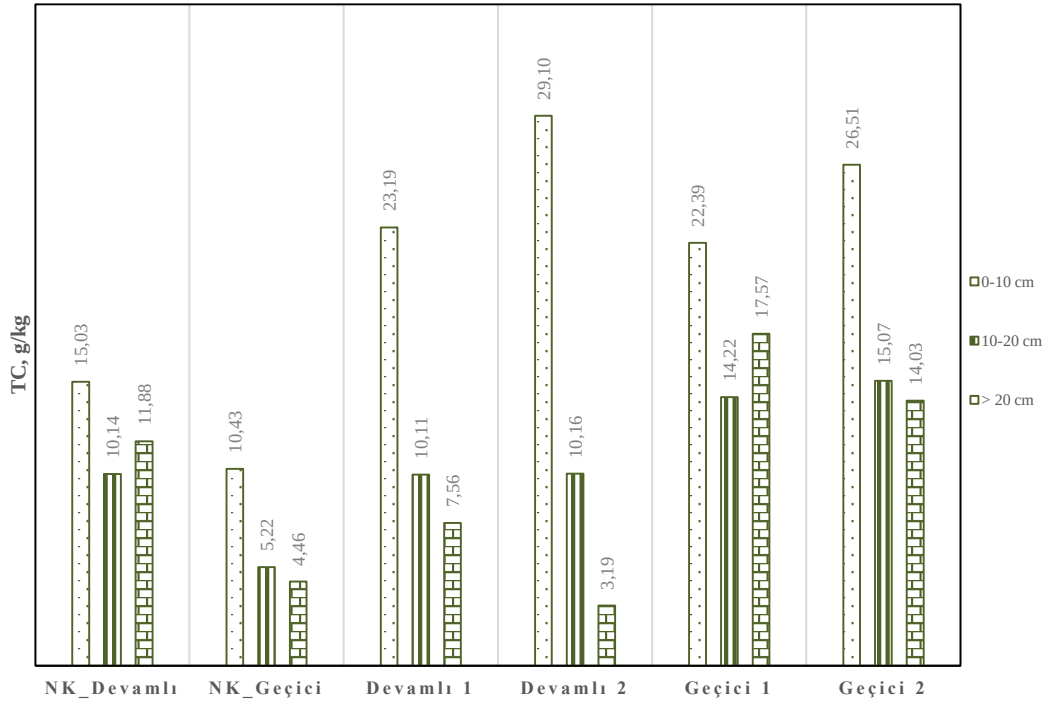
Sulak alanlar, ortamda birincil üretimin yüksek olmasından, bozunma hızının yavaş olmasından ve sediment biriktirme özelliklerinden dolayı yüksek miktarda organik maddeyi ayrıştırabilirler. Sulak alan topraklarındaki organik

madde birikimi girdi (yerinde üretilen ve dışarıdan gelen organik madde) ve çıktı (bozunma ve erozyon) arasındaki orana bağlıdır [39, 80]. Nehir kıyısı, devamlı ve geçici sulak alan sedimentlerinde en yüksek organik madde birikimi yüzey zonunda (10 cm) olmaktadır. Yüzeyde organik madde birikiminin, nehir kıyısı devamlı su altında kalan alan sedimentlerinde, geçici olarak su altında kalan alan sedimentlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Kök zonunda (10-20 cm) doğal olarak oluşan nehir kıyısı devamlı sulak alanında en yüksek organik madde birikimi gözlenmiştir. San Luis devamlı ve geçici sulak alanları restore edilmiş sulak alanlardır ve doğal alanlar restore edilmiş alanlara göre daha fazla organik madde biriktirirler [39]. 20 cm'den daha derin zonda en yüksek organik madde birikimi nehir kıyısı devamlı sulak alanında gözlenirken, geçici sulak alanların devamlı sulak alanlara göre daha fazla organik madde biriktirdiği görülmüştür.

Devamlı su altında bulunan alanlarda anaerobik ortamın devamlılığından dolayı organik madde bozunması yavaşlar [84]. Bunun yanında, akıştan gelen karbonun önemli bir kısmının toprakta kalması ve kuru mevsimlerde okside olması ile kuru-yaş periyotlarda ise daha yüksek verimlilik oluşabilir. Sonuç olarak devamlı su altında bulunan alanlar organik madde birikimi için daha uygun koşullar oluştururken, geçici sulak alanlar daha yüksek miktarda organik madde girişi için uygun şartlara sahiptirler.

Tropik iklim koşullarında bulunan izole bir sulak alanda yapılan çalışmada organik madde birikiminin % 38-48 arasında değiştiği ve çalışılan alanlara göre yüksek olduğu görülmektedir [45].

Farklı alanlardaki sulak alanlarda karbon birikimi yüzey, kök ve derin zon olmak üzere üç farklı zonda incelenmiş olup ve Şekil 6.2'de gösterilmektedir.



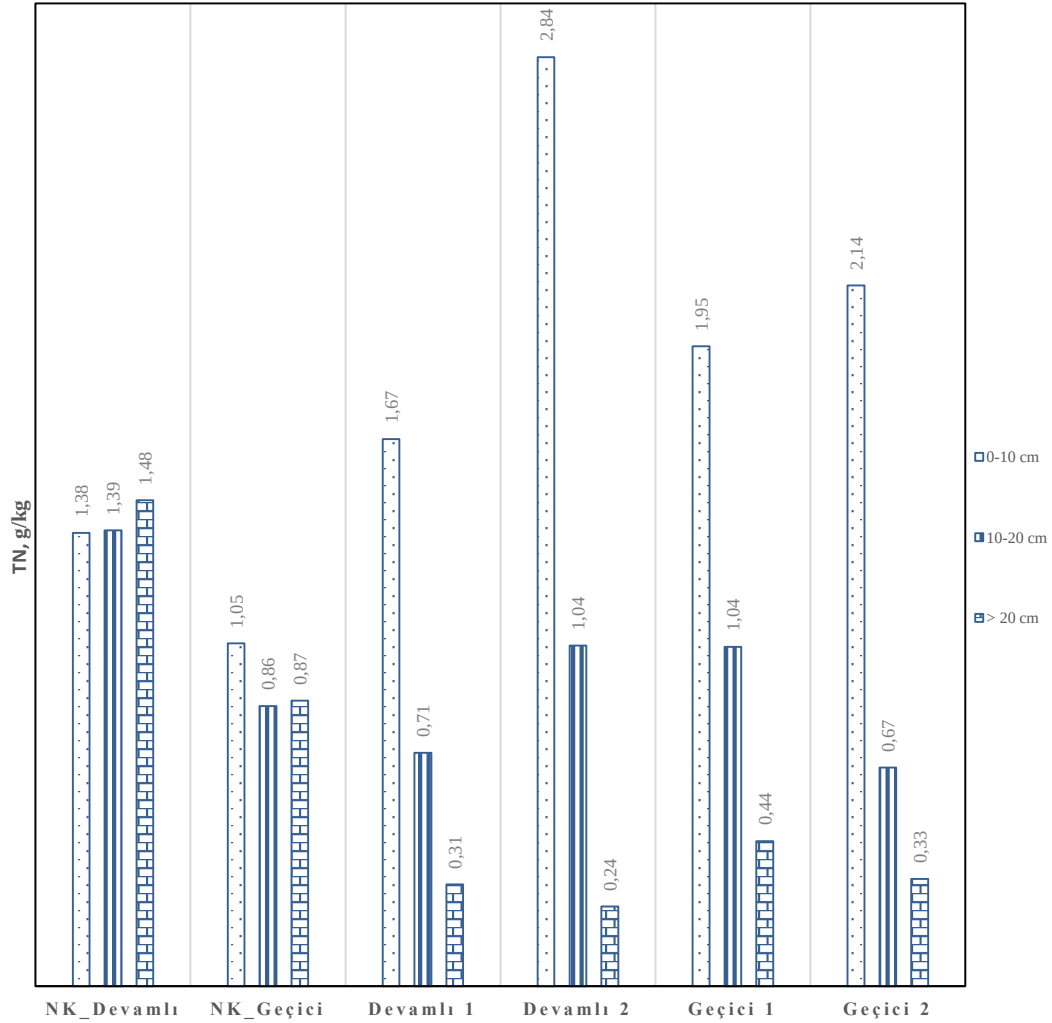
Şekil 6.2 Sulak alanlardan alınan farklı sediment korlarındaki toplam karbonun (g/kg) zonlara göre dağılımı

Doğal sulak alanlarda devamlı su altında bulunan alandaki karbon derişimi derinliğe göre geçici sulak alandaki karbon derişiminden daha fazla olmuştur. Nehir kıyısali alanındaki kök zonundaki karbon derişimi derin zondan daha düşüktür. Buna göre doğal sulak alan sedimentlerindeki karbon birikiminin artırılmasında sürekli anaerobik ortamın varlığı yüksek verimliliğe göre daha önemlidir [39].

Fakat restore edilen sulak alanlarda yüzey zonunda, su akışının devamlı ya da geçici olması arasında önemli bir farklılık görülmemiştir. En yüksek karbon birikimi devamlı sulak alanın çıkışından alınan korda gözlemlenmiştir. Kök ve derin zonda devamlı sulak alandaki karbon derişimi geçici sulak alana göre daha düşük bulunmuştur. Geçici sulak alanda derin zondaki özellikle SL_SWL_1 korunda yüksek çıkmasının nedeni, derinliğe bağlı olarak inorganik karbon değerinin artmasından kaynaklanmaktadır. Tropik ve ılıman iklimlerde bulunan iki doğal sulak alanda yapılan karbon birikimi ve profilleri çalışmasında, karbon derişimlerinin 29,1 – 174,6 g/kg arasında değiştiğini, sulak alanlara bağlanan yüksek alanlarda karbon derişimlerinin 7,1 – 16,5 g/kg arasında değiştiği

görülmüştür. Yüksek karbon derişimleri tropik iklime sahip sulak alanlarda görölürken, daha düşük derişimler ılıman iklime sahip sulak alanlarda görölümüştür [39].

Sulak alanlardaki azot birikimi yüzey, kök ve derin zon olmak üzere üç farklı zonda incelenmiş olup ve Şekil 6.3’de gösterilmektedir.

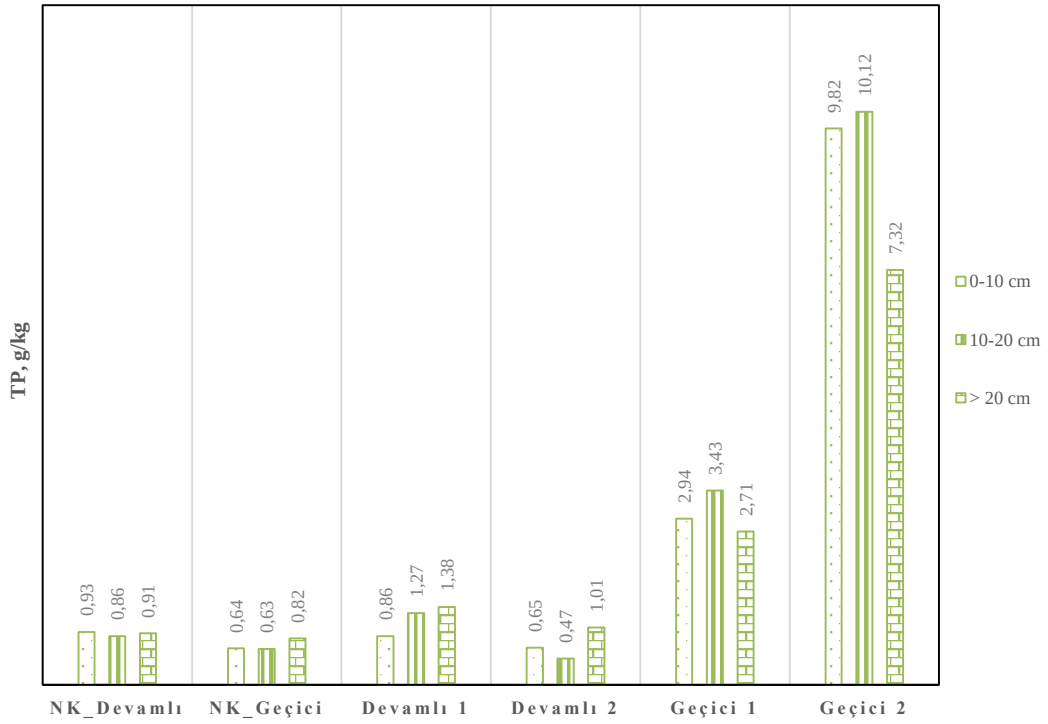


Şekil 6.3 Sulak alanlardan alınan farklı sediment korlarındaki toplam azotun (TN) zonlara göre dağılımı

Nehir kıyısı alanından alınan korlarda devamlı su altındaki alanda zonlara göre toplam azot birikiminin değişmediği, bunun yanında geçici olarak su altında kalan alanın daha az azot biriktirdiği görölmektedir. Yüzey zonunda en yüksek azot birikimi devamlı sulak alanın çıkışında gözlemlenirken, geçici sulak alanın yüksek

alan kısmından alınan korda da devamlı sulak alandaki azot birikimine çok yakın olduğu görülmektedir. Kök zonunda, nehir kıyısı devamlı su altındaki alanda azot birikimi en yüksek olurken, diğer korlarda 0,67 ile 1,04 g/kg arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Derin zonda en düşük azot birikimi devamlı sulak alanlarda görülürken, en yüksek azot birikimi nehir kıyısı devamlı sulak alanında gözlemlenmiştir.

Farklı özelliklerdeki sulak alanlardan alınan sediment korlarındaki fosfor birikimi yüzey, kök ve derin zon olmak üzere üç farklı zonda incelenmiş olup ve Şekil 6.4’de gösterilmektedir.



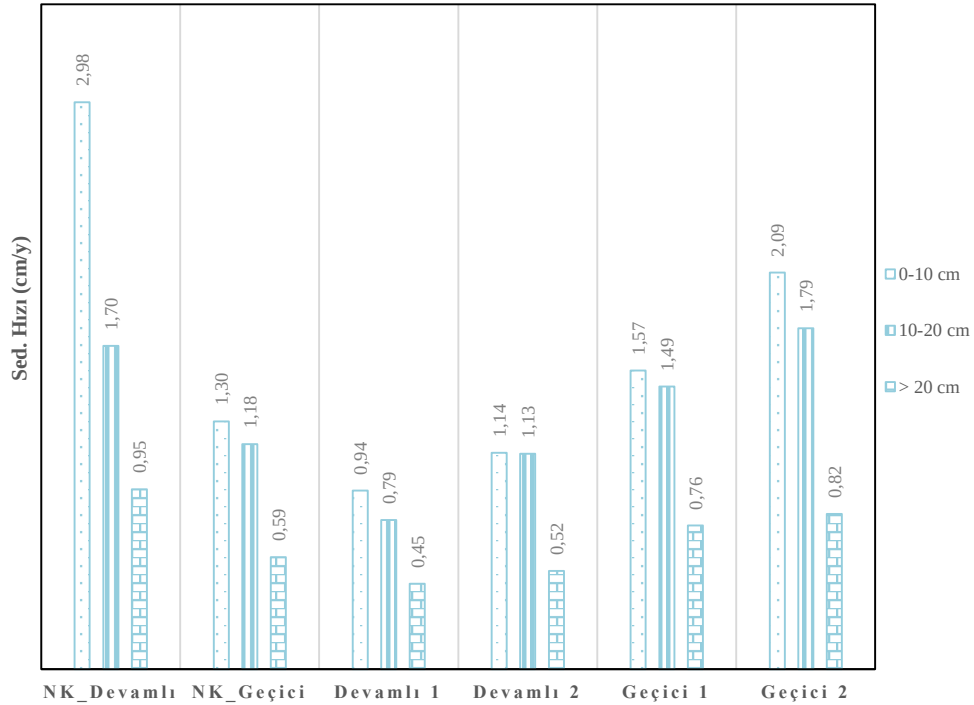
Şekil 6.4 Sulak alanlardan alınan farklı korlardaki toplam fosforun zonlara göre dağılımı

Geçici sulak alanın yüksek alan kısmından alınan sediment korunda toplam fosfor birikimi diğer alanlara göre oldukça farklı bulunmuştur. Bu alanın yüzey ve kök zonunda yaklaşık aynı fosfor birikimi görülürken, derin zonda fosfor birikim hızı yaklaşık 1,3 kat azalarak ortalama 7,32 g/kg olarak hesaplanmıştır. Daha çok otlak alanı olarak kullanıldığı için fosfor birikiminin yüksek olduğu

düşünülmektedir. Diğer geçici sulak alan korunda kök zonundaki toplam fosfor değeri, yüzey zonuna göre yüksek bulunmuştur. Nehir kıyısalı ve devamlı sulak alan arasında fosfor birikimi açısından önemli bir farklılık gözlenmemiştir.

Florida Okeechobee gölü drenaj havzasında yapılan çalışmada, yüzeydeki toplam fosfor derişiminin 100-600 mg/kg arasında değıştiğı ve bu bölgenin tropik bölgede ve izole bir sulak alan olduğundan kaynaklandığı gösterilmiştir [45].

Sulak alanlardaki sedimantasyon hızı yüzey, kök ve derin zon olmak üzere üç farklı zonda incelenmiş olup ve Şekil 6.5’de gösterilmektedir.



Şekil 6.5 Sulak alanlardan alınan farklı korlardaki sedimantasyon hızının zonlara göre dağılımı

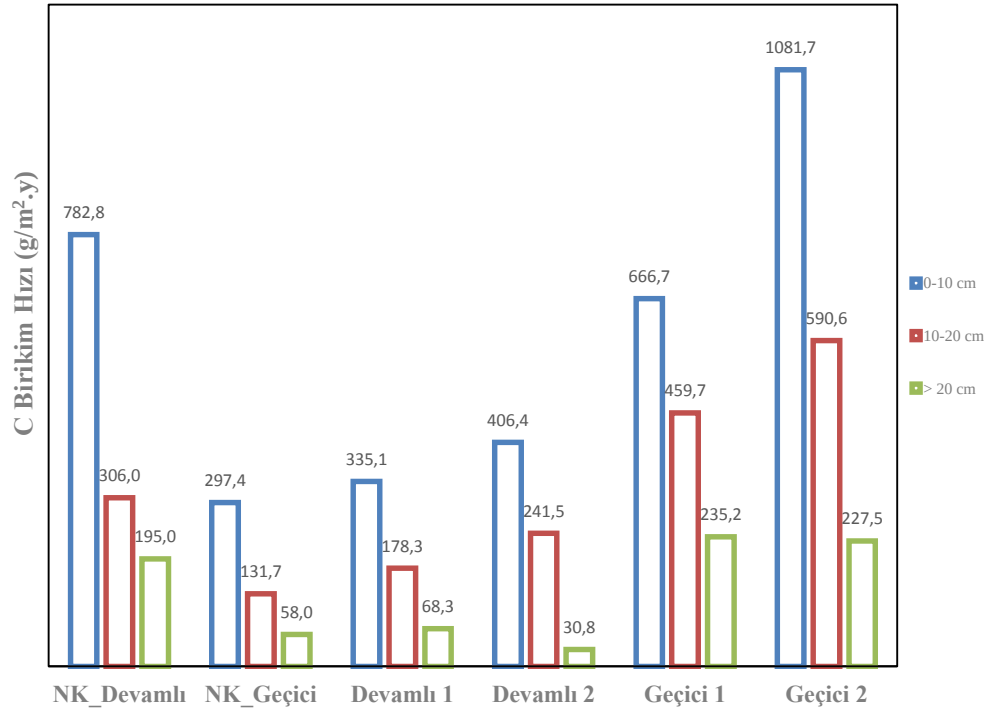
Yüzey zonunda en yüksek sedimantasyon hızı nehir kıyısalı devamlı olarak su altında kalan alanda gözlemlenirken, en düşük sedimantasyon hızı devamlı sulak alanlarda gözlemlenmiştir. Kök zonunda en yüksek sedimantasyon hızı geçici sulak alandaki yüksek alandan alınan korda gözlemlenirken, devamlı sulak alandaki korlarda en düşük olarak gözlemlenmiştir. Derin zonda en düşük sedimantasyon hızı restore edilen sulak alanlarda belirlenirken, doğal sulak alan olan nehir kıyısalı

devamlı su altındaki alanda en yüksek olarak belirlenmiştir. Nehir kıyısalı ve devamlı sulak alanın ilk 15 cm'deki derinliğinde hesaplanan sedimantasyon hızı değerlerine göre alanların yaklaşık olarak kaç yılda dolacağı hesaplanmış ve Çizelge 6.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 Sedimantasyon hızlarına göre sulak alanların sediment ile kaplanacağı zaman aralıkları

Çalışma Alanı	Su Derinliği, cm	Sed. Hızı (cm/y)	Yıl	Ort. Yıl
SJNUYKA_Nehir Kıyısalı Devamlı SA	60	2,788	21,5	25
		3,179	18,9	
		1,740	34,5	
SLUYKA_Devamlı Sulak Alan_Giriş	100	0,989	101,1	111
		0,892	112,1	
		0,834	119,9	
SLUYKA_Devamlı Sulak Alan_Çıkış	100	1,065	93,9	85
		1,214	82,3	
		1,269	78,8	

Bütün sulak alanlardaki C birikim hızı yüzey, kök ve derin zon olmak üzere üç farklı zonda hesaplanmış ve Şekil 6.6'de gösterilmiştir.



Şekil 6.6 Sulak alanlardan alınan farklı korlardaki karbon birikim hızının zonlara göre dağılımı

Karbon birikim hızı yüzey zonunda geçici sulak alanın yüksek alan bölgesinde en yüksek değerde hesaplanmıştır. Karbon birikim hızının hesaplanmasında sedimantasyon hızı, yığın yoğunluğu ve her 5 cm için ölçülen karbon içeriği etkili olmaktadır. Yüzey zonunda, geçici sulak alandaki karbon birikim hızları birbirinden farklıdır. Geçici sulak alanın yüksek alan kısmında özellikle hayvanların otlatılmasının karbon birikim hızı üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Yoğun tarımsal akış alan nehir kıyısı alanındaki devamlı sulak alanda, yüzey zonunda karbon birikim hızının aynı alanın geçici sulak alanına göre yaklaşık olarak iki kat fazla olduğu görülmektedir. Devamlı sulak alandaki yüzey zonunda karbon birikim hızının diğer alanlara göre en düşük olduğu gözlemlenmiştir. Kök ve derin zonda karbon birikim hızı yüzey zonuna benzer bir eğilim sergilemiştir.

Nehir kıyısı alanında devamlı olarak su altındaki kısımdan alınan sediment korunun derin zonu 2003 yılı ve öncesine denk düşerken, geçici olarak su altında kalan bölümden alınan sediment koru 1996 yılından öncesine denk gelmektedir. Bu alanın 2006 yılından daha öncesinde yine nehir kıyısı olduğu fakat şimdilerdeki gibi yoğun akış almadığı bilinmektedir. Buna rağmen restore edilen sulak alandaki devamlı sulak alandaki karbon birikim hızına göre yaklaşık üç kat daha fazla görülmektedir. Devamlı sulak alanda derin zon yaklaşık olarak 1990 öncesine denk gelmektedir, bu alanın 2000 yılından önce tarım ya da otlak arazisi olduğu bilinmektedir. Geçici sulak alanda derin zon 2000 yılından öncesine denk gelmektedir ve devamlı sulak alana göre daha yüksek lokasyonda bulunmasından dolayı karbon birikim hızının daha yüksek olduğu düşünülmektedir.

Karbon birikim hızı her alana göre değişiklik göstermektedir. Farklı alanlarda yapılan çalışmalara göre; genel sulak alanlar için karbon birikimi 20 -140 g/m².y olarak bulunurken, Kuzey Amerika'daki turbalık alanlarda 29 g/m².y, restore sulak alanlarda 305 g/m².y ve yapay sulak alanlarda 190 g/m².y karbon birikim hızı bulunmuştur [53]. Kıyı sulak alanlarında radyometrik yöntemle karbon birikim hızı ortalama 142 g/m².y olarak bulunmuştur [77].

Sulak alanlarda biriken karbonun bir kısmı CO₂ ve CH₄ emisyonu olarak atmosfere salınmaktadır. 1 ton C/ha.y'ın 3,664 ton CO₂-C/ha.y ve 1,337 ton CH₄-C/ha.y'a eşdeğer olduğu bilinmektedir [112]. Buna göre hesaplanan maksimum CO₂ ve CH₄ emisyonları Çizelge 6.2'de gösterilmiştir. Yüksek karbon birikim hızı, su ve sediment kolonundaki mikrobiyal aktiviteleri artırabilir. Mikrobiyal aktivitenin artması sonucunda iklim değişikliğine sebep olan sera gazlarının üretimi artmaktadır. Artan sera gazı emisyonları iklim değişikliği üzerinde negatif etkilere sahiptir [7].

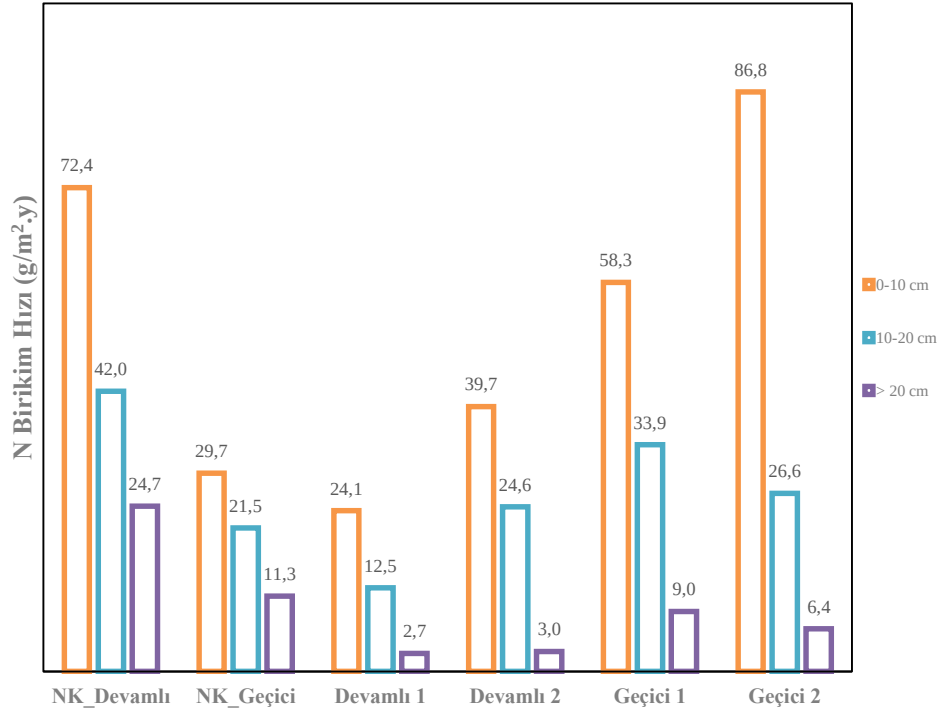
Çizelge 6.2 Sediment korlarının derinliğine bağlı TC değerine eşdeğer CO₂ ve CH₄ olası emisyon değerleri

Çalışma alanı	TC (ton C/ha.y)	CO ₂ -C (t/ha.y)	CH ₄ -C (t/ha.y)
NK_Devamlı	39,33	144,21	52,58
NK_Geçici	12,06	44,22	16,12
Devamlı 1	12,32	45,17	16,47
Devamlı 2	14,50	53,17	19,39
Geçici 1	38,99	142,98	52,13
Geçici 2	51,64	189,38	69,05

Çizelge 6.2'de görülen değerlere göre; en yüksek CO₂ ve CH₄ akısı oluşturabilecek alanın geçici sulak alandaki yüksek bölgeden olabileceği ve bunu nehir kıyısı alanının devamlı su altında kalan bölgesinin takip ettiği görülebilir. En düşük CO₂ ve CH₄ akısının devamlı sulak alanlardan kaynaklanabileceği görülmektedir. Literatürdeki değerlerle karşılaştırıldığında, bulunan değerlerin yapay ve restore edilen sulak alanlarda oluşan CO₂ ve CH₄ akısına benzer özellik gösterdiği, doğal sulak alanlara göre daha yüksek olduğu söylenebilir [76, 113]. Bunun nedeni ise sediment birikimi hızının da yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Sulak alan ekosistemlerinde sedimantasyon hızı artışı ile birlikte daha yüksek karbon birikimi meydana gelmektedir [33]. Ayrıca Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change) 1990 yılından önceki veriler dikkate alınarak hazırlanan raporuna göre; karasal kaynakların emisyonunun toplam 26 Gt C olduğu bildirilmektedir

[114]. Buna göre; sulak alanlardan oluşan emisyon değerleri bu değerlere göre düşük olmasına rağmen, sulak alanların karbon birikim kapasitesinin artırılarak korunması ile birlikte iklim değişikliği üzerinde etkilerinin olması da kaçınılmazdır.

Bütün sulak alanlardaki N birikim hızı yüzey, kök ve derin zon olmak üzere üç farklı zonda hesaplanmış ve Şekil 6.7’de gösterilmiştir.

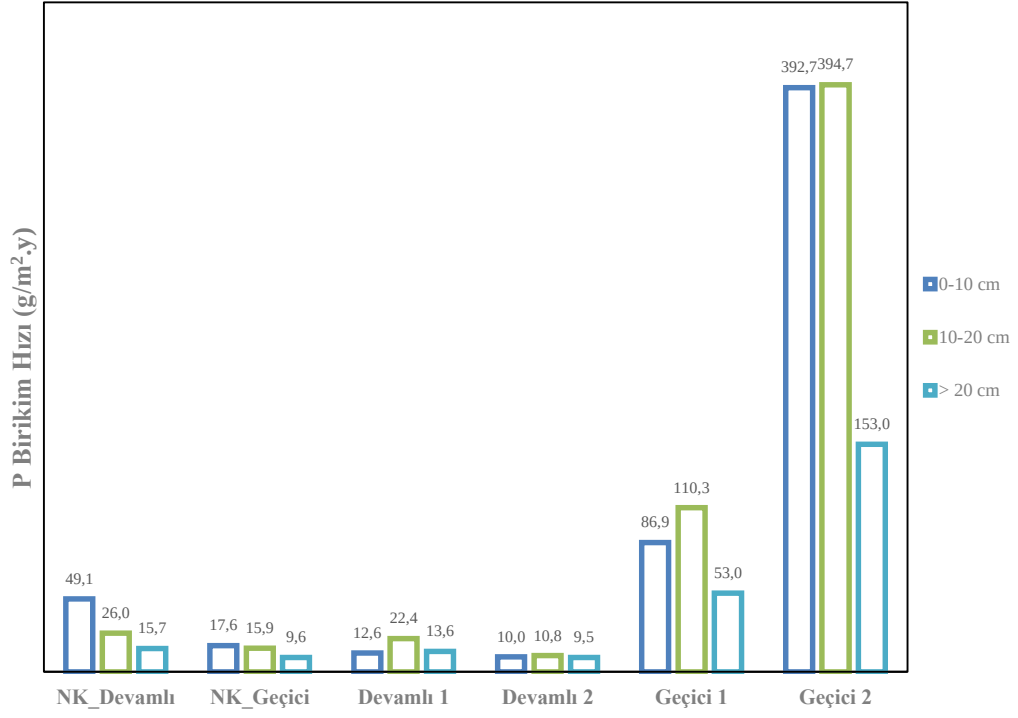


Şekil 6.7 Sulak alanlardan alınan farklı korlardaki N birikim hızının zonlara göre dağılımı

Farklı zonlardaki azot birikim hızları, karbon birikim hızları ile oldukça benzer özellik göstermektedir. Yüzey zonunda ve kök zonunda, nehir kıyısı alanındaki geçici sulak alan, devamlı sulak alanın girişindeki sediment koruna göre daha yüksek azot birikiminin olduğu görülmektedir. N birikim hızlarındaki diğer bir farklılık, kök zonunda geçici sulak alanındaki yüksek bölgeden alınan sediment korundaki N birikim hızının diğer geçici sulak alan koruna göre daha düşük olmasıdır. Azot birikim hızları derin zonda karbon birikim hızına benzerlik göstermekte, fakat devamlı sulak alan korlarının oldukça düşük azot birikim hızı gösterdiği görülmektedir. Turbalıkların bataklık alanlarında yapılan çalışmada azot

birikim hızı 8,2 g/m².y ve organik karbon birikim hızı 104 g/m².y olarak bulunmuştur [115].

Bütün sulak alanlardaki P birikim hızı yüzey, kök ve derin zon olmak üzere üç farklı zonda hesaplanmış ve Şekil 6.8’de gösterilmiştir.



Şekil 6.8 Sulak alanlardan alınan farklı korlardaki P birikim hızının zonlara göre dağılımı

Geçici sulak alanın yüksek alan kısmından alınan sediment korunda fosfor birikimi diğer alanlara göre oldukça farklı bulunmuştur. Bu alanın yüzey ve kök zonunda yaklaşık aynı fosfor birikim hızı görülürken, derin zonda fosfor birikim hızı yaklaşık 2,5 kat azalarak ortalama 153 g/m².y olarak hesaplanmıştır. Derin zondaki fosfor birikimi bile diğer korlara göre yüksek bulunmuştur. Daha çok otlak alanı olarak kullanıldığı için fosfor birikiminin yüksek olduğu düşünülmektedir. Diğer geçici sulak alan korunda kök zonundaki fosfor birikim hızı, yüzey zonuna göre yüksek bulunmuştur. Nehir kıyısı ve devamlı sulak alan arasında fosfor birikim hızları için önemli bir farklılık gözlenmemiştir. Bu alanlar içinde en yüksek fosfor birikim hızı nehir kıyısı devamlı sulak alanında gözlemlenmiştir. Taşkın alanlarında ve tatlı su sulak alanlarında yapılan sediment ve nütrient birikimi

alışmasında 30 yıllık birikim periyodunda organik karbon birikimi 79 g/m².y, azot birikimi g/m².y, fosfor birikimi 0,38 g/m².y olarak bulunmuştur [22].

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında doğal olarak oluşan nehir kıyısı, restore edilen devamlı ve geçici sulak alanlardan farklı derinliklerden toplam altı kor numunesi alınarak, fiziksel özellikler (yığın yoğunluğu, nem içeriği, partikül boyut analizi), organik madde, karbon, azot, fosfor birikimi belirlenmiş, ^{210}Pb yöntemi kullanılarak sedimantasyon hızı ölçülmüş ve buna bağlı olarak karbon, azot, fosfor birikim hızları belirlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- ✓ San Luis UYKA'da geçici sulak alan sediment korlarındaki derinliğe bağlı yığın yoğunluğu değerleri devamlı sulak alana göre daha yüksek bulunmuştur. San Luis UYKA'dan alınan korlar killi özellik gösterirken, SJRUYKA'dan alınan korlar kumlu özellik göstermektedir.
- ✓ Sulak alanlarda organik madde birikiminin yüzey zonunda en yüksek olduğu görülmektedir. Yüzey zonunda organik madde birikimi devamlı sulak alanlarda geçici sulak alanlara göre daha yüksek bulunmuştur.
- ✓ Sulak alanlarda organik madde birikimindeki etkin mekanizmalar alanın doğal veya restore edilmiş olmasına göre değişmektedir. Doğal sulak alanın devamlı kısmında kök ve derin zonda organik madde birikimi geçici sulak alana göre daha yüksek bulunurken, restore edilen sulak alanda derin zonda, geçici sulak alanların organik madde birikimi devamlı sulak alanlara göre daha yüksek bulunmuştur.
- ✓ Organik maddenin yığın yoğunluğu ile negatif yönlü bir ilişkisini olduğu ve bunun literatür ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.
- ✓ Organik madde miktarı ile sediment kum içeriği arasında pozitif yönlü bir ilişki görülürken, kil içeriği arasında negatif yönlü bir ilişki görülmüştür.
- ✓ Doğal olarak oluşan nehir kıyısı alanları karbon birikimi açısından restore edilen sulak alanlara göre derinliğe bağlı olarak daha az değişkenlik göstermektedir. Nehir kıyısı geçici sulak alanlarında devamlı sulak alanlara göre yaklaşık 3 kat daha az karbon birikimi görülmüştür.

- ✓ Restore edilen sulak alanlarda geçici sulak alan olarak yönetilen bölümler, giren karbonun değişken olmasından dolayı devamlı sulak alan olarak yönetilen bölümlere göre ortalama olarak daha yüksek karbon biriktirme eğilimindedir.
- ✓ Doğal ve restore edilen sulak alanlarda azot birikimi karbon birikimi ile benzer eğilimi gösterdiği görülmektedir. Aynı zamanda belirlenen C/N oranları, sulak alanlara gelen organik maddenin benzer kaynaklardan geldiğini göstermektedir.
- ✓ Sulak alan sediment korlarındaki $\delta^{13}\text{C}$ değerlerine göre giren karbonun genellikle sucul bitki ve planktonlardan kaynaklandığı görülmüştür.
- ✓ Geçici sulak alan sedimentlerinden alınan korlarda toplam fosfor birikimi diğer alanlara göre oldukça yüksek bulunmuştur.
- ✓ Nehir kıyısalı sulak alanı 2004 yılında meydana gelen taşkından sonra yoğun bir şekilde tarımsal akış almaktadır. 2004 yılından sonra bu alandaki ortalama sedimantasyon hızı 2,57 cm/y olarak hesaplanmıştır. Bu alandaki ortalama su derinliği 60 cm olduğundan, ilk 15 cm'deki ortalama sedimantasyon hızı dikkate alındığında yaklaşık olarak 25 yılda dolması beklenmektedir.
- ✓ 2000 yıllardan sonra restore edilen devamlı sulak alanda, ortalama sedimantasyon hızı 1,04 cm/y olarak CRS modeli ile hesaplanmıştır. Bu hızla sediment birikiminin devam edeceği düşünüldüğünde bu alanın yaklaşık olarak 96 yılda dolması beklenmektedir.

Sonuç olarak, doğal olarak oluşan ya da sonradan oluşturulan nehir kıyısalı alanları (riparian) yüzeysel su kaynaklarını sediment, karbon ve nutrient yüklerinden koruyarak gelecek nesillere aktarılmasını sağlamaktadır. Ayrıca sulak alanların yüzeyindeki su tablasının korunması sulak alan sedimentlerindeki karbonun korunmasını ve sera gazlarından olan CO_2 ve CH_4 'ün atmosfere salınmasını engellemektedir. Sulak alanların özelliklerini yitirmesi durumunda biriktirdiği karbonun sera gazı emisyonlarına dönüşmemesi için gerekli önlemlerin alınarak sulak alanların korunması gerekmektedir.

Yüksek biyolojik üretkenliğe ve dinamik bir yapıya sahip olan sulak alanlar ülkemizde de oldukça fazla alanı kaplamaktadır ve önemi giderek artan bir konu olmaktadır. Yüksek miktarda organik maddeyi üreten, bünyesinde birikteren sulak alanların, iklim değişikliğinin etkisiyle beraber kuruması yada bataklık olarak düşünülüp kurutulması yerine havza yönetim planları içindeki öneminin artırılması gerekmektedir. Ülkemizde sulak alanların korunması ve sürekliliğinin sağlanması için bu tür çalışmaların yaygınlaştırılması önemli bir gerekliliktir.

KAYNAKLAR

1. Marchal, V., et al., *OECD Environmental Outlook to 2050*. Organization for Economic Co-operation and Development. 2011.
2. Lopera Palacios, J., et al., *OECD-FAO agricultural outlook 2009-2018*, OECD, FAO. 2009.
3. Agency, U.E.P., *Water Quality Conditions in the United States. A Profile from the 2000 National Water Quality Inventory (EPA-841-F-02-003)*. 2002.
4. Wetzel, R.G., *Limnology: lake and river ecosystems*. 2001: Gulf Professional Publishing.
5. Stringfellow, W., et al., *Water quality changes occurring in agricultural drains of varying riparian function*. Agricultural drainage ditches: mitigation wetlands for the 21st Century. Research Signpost, Kerala, India. 173-194, 2010.
6. Appleby, P.G., *Three decades of dating recent sediments by fallout radionuclides: a review*. Holocene. **18**(1): 83-93, 2008.
7. Reddy, K.R. ve R.D. DeLaune, *Biogeochemistry of Wetlands: Science and Applications*. 2004: Taylor & Francis.
8. Grumbles, B.H., *Wetlands, drainage ditches, and the Clean Water Act*. Journal of soil and water conservation. **46**(3): 174-177, 1991.
9. Baligar, V., N. Fageria, ve Z. He, *Nutrient use efficiency in plants*. Communications in Soil Science and Plant Analysis. **32**(7-8): 921-950, 2001.
10. Cooper, C.M., *Biological Effects of Agriculturally Derived Surface Water Pollutants on Aquatic Systems—A Review*. Journal of Environmental Quality. **22**(3): 402-408, 1993.
11. Jolankai, G. ve W. Rast, *The hydrologic cycle and factors affecting the generation, transport and transformation of nonpoint source pollutants*. MAN AND THE BIOSPHERE SERIES. **23**: 41-71, 1999.
12. Kao, C. ve M. Wu, *Control of non-point source pollution by a natural wetland*. Water Science & Technology. **43**(5): 169-174, 2001.
13. Olson, R.K., *Created and natural wetlands for controlling nonpoint source pollution*. 1993: CK Smoley.
14. Carpenter, S.R., et al., *Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen*. Ecological applications. **8**(3): 559-568, 1998.
15. Jordan, T.E., et al., *Nutrient and sediment removal by a restored wetland receiving agricultural runoff*. Journal of Environmental Quality. **32**(4): 1534-1547, 2003.
16. Baker, L.A., *Introduction to nonpoint source pollution in the United States and prospects for wetland use*. Ecological Engineering. **1**(1): 1-26, 1992.
17. Benoit, G. ve T.F. Rozan, *210Pb and 137Cs dating methods in lakes: a retrospective study*. Journal of Paleolimnology. **25**(4): 455-465, 2001.
18. Lubis, A.A., *Constant rate of supply (CRS) model for determining the sediment accumulation rates in the coastal area using 210Pb*. Journal of Coastal Development. **10**(1): 9-18, 2013.

19. Goldberg, E.D., *Geochronology with ^{210}Pb* . Radioactive dating. 121-131, 1963.
20. Krishnaswamy, S., et al., *Geochronology of lake sediments*. Earth and Planetary Science Letters. **11**(1-5): 407-414, 1971.
21. Appleby, P. ve F. Oldfield, *The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported Pb-210 to the sediment* Catena. **5**(1): 1-8, 1978.
22. Craft, C.B. ve W.P. Casey, *Sediment and nutrient accumulation in floodplain and depressional freshwater wetlands of Georgia, USA*. Wetlands. **20**(2): 323-332, 2000.
23. Heim, S., et al., *Geochronology of anthropogenic pollutants in riparian wetland sediments of the Lippe River (Germany)*. Organic Geochemistry. **35**(11): 1409-1425, 2004.
24. Aalto, R. ve W. Dietrich, *Sediment accumulation determined with ^{210}Pb geochronology for Strickland River flood plains, Papua New Guinea*. Sediment budgets. **1**: 303-309, 2005.
25. Bonotto, D. ve J. De Lima, *^{210}Pb -derived chronology in sediment cores evidencing the anthropogenic occupation history at Corumbatai River basin, Brazil*. Environmental Geology. **50**(4): 595-611, 2006.
26. Begy, R., C. Cosma, ve Z. Horvath, *Sediment accumulation rate in the red lake (Romania) determined by Pb-210 and Cs-137 radioisotopes*. Rom. Journ. Phys. **54**: 943-949, 2009.
27. YILDIZ, N. ve G. YENER, *Van Gölü'nde Sediment Birikim Hızı, Radyoaktif ve Ağır Metal Kirliliğinin Tarihlemesi*. Ekoloji. **19**(77): 80-87, 2010.
28. Sert, İ., *Gülbahçe Körfezi Hidrotermal Bölge Sediment Korlarında Pb-210 Dağılımının İncelenmesi ve Tarihlemede Kullanılması*, in Ege Üniversitesi. 2009.
29. Ekdal, E., *Tarım Toprakları ve Ürünlerinde Fosfatlı Gübre Kullanımına Bağlı Po-210 ve Pb-210 Radyonuklidlerinin İncelenmesi* in Ege Üniversitesi. 2003.
30. Özden, B., *Bazı Liken ve Karayosunu Türlerinin ^{210}Po ve ^{210}Pb Atmosferik Akısının Değerlendirilmesinde Biyomonitor Olarak Kullanılması* in Ege Üniversitesi. 2003.
31. Post, W.M., et al., *Soil carbon pools and world life zones*. 1982.
32. Maltby, E. ve P. Immirzi, *Carbon dynamics in peatlands and other wetland soils regional and global perspectives*. Chemosphere. **27**(6): 999-1023, 1993.
33. McCarty, G.W. ve J.C. Ritchie, *Impact of soil movement on carbon sequestration in agricultural ecosystems*. Environmental Pollution. **116**(3): 423-430, 2002.
34. Dean, W.E. ve E. Gorham, *Magnitude and significance of carbon burial in lakes, reservoirs, and peatlands*. Geology. **26**(6): 535-538, 1998.
35. Lal, R., et al., *Management of carbon sequestration in soil*. 1998: CRC Press Inc.
36. Lal, R., *Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect*. Critical Reviews in Plant Sciences. **22**(2): 151-184, 2003.

37. Schlesinger, W.H., *Biogeochemistry: An Analysis of Global Change*. 1997. San Diego, CA: Academic Pr. 1991.
38. Bridgham, S.D., et al., *The carbon balance of North American wetlands*. *Wetlands*. **26**(4): 889-916, 2006.
39. Bernal, B. ve W.J. Mitsch, *A comparison of soil carbon pools and profiles in wetlands in Costa Rica and Ohio*. *Ecological Engineering*. **34**(4): 311-323, 2008.
40. Dolan, T.J., et al., *Phosphorus dynamics of a Florida freshwater marsh receiving treated wastewater*. *Journal of Applied Ecology*. 205-219, 1981.
41. Graham, S.A., et al., *Forms and accumulation of soil P in natural and recently restored peatlands—Upper Klamath Lake, Oregon, USA*. *Wetlands*. **25**(3): 594-606, 2005.
42. Dunne, E., et al., *Phosphorus storages in historically isolated wetland ecosystems and surrounding pasture uplands*. *ecological engineering*. **31**(1): 16-28, 2007.
43. DeBusk, W. ve K. Reddy, *Nutrient and hydrology effects on soil respiration in a northern Everglades marsh*. *Journal of environmental quality*. **32**(2): 702-710, 2003.
44. Fisher, M. ve K. Reddy, *Phosphorus flux from wetland soils affected by long-term nutrient loading*. *Journal of Environmental Quality*. **30**(1): 261-271, 2001.
45. Bhadha, J. ve J. Jawitz, *Characterizing deep soils from an impacted subtropical isolated wetland: implications for phosphorus storage*. *Journal of Soils and Sediments*. **10**(3): 514-525, 2010.
46. Kadlec, R.H. ve S. Wallace, *Treatment wetlands*. 2008: CRC press.
47. Brauer, N., A. O'Geen, ve R. Dahlgren, *Temporal variability in water quality of agricultural tailwaters: Implications for water quality monitoring*. *Agricultural water management*. **96**(6): 1001-1009, 2009.
48. O'Geen, A., et al., *Chapter One-Mitigating nonpoint source pollution in agriculture with constructed and restored wetlands*. *Advances in Agronomy*. **108**: 1-76, 2010.
49. Ritter, W.F. ve A. Shirmohammadi, *Agricultural Nonpoint Source Pollution: Watershed Management and Hydrology*. 2010: Taylor & Francis.
50. Stringfellow, W.T., et al., *Sizing mitigation wetlands in agricultural watersheds*. *Water Science and Technology*. **67**(1): 40, 2012.
51. *Freshwater biodiversity: a preliminary global assessment (1998)*.
52. <http://www.ramsar.org>.
53. Mitsch, W.J. ve J.G. Gosselink, *Wetlands*. Hoboken, NJ: Wiley. 2007.
54. Guidance, W.H., *Draft Horizontal Guidance Document on the Role of Wetlands in the Water Framework Directive*. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). 2003.
55. Vymazal, J., *Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment*. *Ecological Engineering*. **25**(5): 478-490, 2005.
56. Ramsar Convention, *Convention on Wetlands, Fact Sheet 1: Wetlands: why should I care?*
http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/factsheet1_why_should_i_care.pdf.

57. Ramsar Convention, Convention on Wetlands, Fact Sheet 2: Wetlands: wise use basics on site http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/factsheet2_wise_use_basics.pdf.
58. Ramsar Convention, Convention on Wetlands, Fact Sheet 3: Wetlands: a global disappearing act http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/factsheet3_global_disappearing_act.pdf.
59. Ramsar Convention, Convention on Wetlands, Fact Sheet 4: Wetlands: what can I do? http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/factsheet4_what_can_i_do.pdf.
60. Ramsar Convention, Convention on Wetlands, Fact Sheet 5: Coral reefs: Critical wetlands in severe danger http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/factsheet5_coral_reefs.pdf.
61. Håkanson, L., *On the relationship between lake trophic level and lake sediments*. Water research. **18**(3): 303-314, 1984.
62. Álvarez-Iglesias, P., et al., *Sedimentation rates and trace metal input history in intertidal sediments from San Simo'n Bay (Ri'a de Vigo, NW Spain) derived from ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs chronology*. Journal of environmental radioactivity. **98**(3): 229-250, 2007.
63. Guevara, S.R., et al., *²¹⁰Pb fluxes in sediment layers sampled from Northern Patagonia lakes*. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. **258**(3): 583-595, 2003.
64. Zaborska, A., et al., *Intercomparison of alpha and gamma spectrometry techniques used in ²¹⁰Pb geochronology*. Journal of Environmental Radioactivity. **93**(1): 38-50, 2007.
65. Wang, S., et al., *Vertical distribution of soil organic carbon in China*. Environmental management. **33**(1): S200-S209, 2004.
66. Watson, R.T., et al., *Land use, land-use change and forestry: a special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2000: Cambridge University Press.
67. Waran, A. ve A. Patwardhan, *Urban carbon burden of Pune City: A case study from India*, Masters thesis submitted to University of Pune,(Unpubl) 2001. 2001.
68. Gorte, R.W. *Carbon sequestration in forests*. 2009. US of Library of Congress, Congressional Research Service.
69. Williams, P., *Greenhouse gas mitigation typology issues paper: tidal wetlands restoration*. Greenhouse gas mitigation typology issues paper: tidal wetlands restoration. 2009.
70. Roulet, N.T., *Peatlands, carbon storage, greenhouse gases, and the Kyoto Protocol: Prospects and significance for Canada*. Wetlands. **20**(4): 605-615, 2000.
71. Lal, R., et al., *Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security*. Soil science. **172**(12): 943-956, 2007.
72. Mitra, S., R. Wassmann, ve P.L. Vlek, *An appraisal of global wetland area and its organic carbon stock*. Current Science. **88**(1): 25, 2005.

73. Chmura, G.L., et al., *Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils*. Global biogeochemical cycles. **17**(4), 2003.
74. Likens, G.E., *Biogeochemistry of inland waters*. 2010: Academic Press.
75. Shaffer, M.J., L. Ma, ve S. Hansen, *Modeling carbon and nitrogen dynamics for soil management*. 2010: CRC Press.
76. Kayranli, B., et al., *Carbon Storage and Fluxes within Freshwater Wetlands: a Critical Review*. Wetlands. **30**(1): 111-124, 2010.
77. Bernal, B., *Estimating carbon sequestration in a Great Lakes coastal wetland using radiometric dating*. 2008.
78. Wylynko, D., *Prairie wetlands and carbon sequestration*. Assessing sinks under Kyoto Protocol. 12-13, 1999.
79. Marland, G., et al., *Studies on enhancing carbon sequestration in soils*. Energy. **29**(9): 1643-1650, 2004.
80. Albrecht, S.L., Rasmussen, P.E., *Soil Quality and Soil Organic Matter*. Columbia Basin Agricultural Research Annual Report. **Spec. Rpt. 946**: pp.101-104, 1995.
81. Trettin, C.C., et al., *Carbon cycling in wetland forest soils*. 2003: Lewis Publishers, Boca Raton, London, New York, Washington, DC.
82. Holden, J., *Peatland hydrology and carbon release: why small-scale process matters*. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. **363**(1837): 2891-2913, 2005.
83. Odum, H.T. ve R.F. Pigeon, *A tropical rain forest*. US Atomic Energy Commission. **1644**, 1970.
84. Wolf, D.C. ve G.H. Wagner, *Carbon transformations and soil organic matter formation*. Principles and applications of soil microbiology, 2nd edn. Prentice Hall, Upper Saddle River. 285-332, 2005.
85. Trettin, C.C., M.F. Jurgensen, ve J. Kimble, *Carbon cycling in wetland forest soils*. 2003: Lewis Publishers, Boca Raton, London, New York, Washington, DC.
86. Liao, C.-H. ve D. Lean, *Seasonal changes in nitrogen compartments of lakes under different loading conditions*. Journal of the Fisheries Board of Canada. **35**(8): 1095-1101, 1978.
87. Fleischer, S., et al., *Nitrogen removal in created ponds*. Ambio. 349-357, 1994.
88. Klopatek, J.M., *Nutrient dynamics of freshwater riverine marshes and the role of emergent macrophytes*, Oak Ridge National Lab., Tenn.(USA). 1977.
89. Keeney, D., *The nitrogen cycle in sediment-water systems*. Journal of Environmental Quality. **2**(1): 15-29, 1973.
90. Reddy, K. ve D. Graetz, *Carbon and nitrogen dynamics in wetland soils*, in *The ecology and management of wetlands*. 1987, Springer. p. 307-318.
91. Patrick Jr, W., *Microbial reactions of nitrogen and phosphorus in wetlands*. The Utrecht plant ecology news report. **11**(10): 52-63, 1990.
92. Hernandez, M.E. ve W.J. Mitsch, *Denitrification in created riverine wetlands: Influence of hydrology and season*. Ecological Engineering. **30**(1): 78-88, 2007.

93. McKee, W.H. ve M.R. McKevlin, *Geochemical processes and nutrient uptake by plants in hydric soils*. Environmental Toxicology and Chemistry. **12**(12): 2197-2207, 1993.
94. Brix, H., *Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants-the root-zone method*. Wat. Sci. Tech. **19**(1/2): 107-118, 1987.
95. Davis, S.M., *Growth, Decomposition, and Nutrient Retention of Cladium-Jamaicense Crantz and Typha-Domingensis Pers in the Florida Everglades*. Aquatic Botany. **40**(3): 203-224, 1991.
96. Karpuzcu, M.E. ve W.T. Stringfellow, *Kinetics of nitrate removal in wetlands receiving agricultural drainage*. Ecological Engineering. **42**(0): 295-303, 2012.
97. <http://www.fws.gov/>.
98. Resources, D.o.S.N., *Soil survey standard test method bulk density of a soil core*.
99. Novotny, V., *Water quality: Diffuse pollution and watershed management*. 2003: John Wiley & Sons.
100. Tan, K.H., *Soil sampling, preparation, and analysis*. 2005: CRC press.
101. Altıntaş, Ü., et al., *Toprak Bilimi*. 2004, İzmir: Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
102. Craft, C., S. Broome, ve E. Seneca, *Nitrogen, phosphorus and organic carbon pools in natural and transplanted marsh soils*. Estuaries. **11**(4): 272-280, 1988.
103. Elsey-Quirk, T., et al., *Salt marsh carbon pool distribution in a mid-Atlantic lagoon, USA: sea level rise implications*. Wetlands. **31**(1): 87-99, 2011.
104. Callaway, J.C., et al., *Carbon sequestration and sediment accretion in San Francisco Bay tidal wetlands*. Estuaries and coasts. **35**(5): 1163-1181, 2012.
105. O'Leary, M.H., *Carbon isotopes in photosynthesis*. Bioscience. 328-336, 1988.
106. Thorp, J.H., et al., *Isotopic analysis of three food web theories in constricted and floodplain regions of a large river*. Oecologia. **117**(4): 551-563, 1998.
107. Zanden, M.J.V. ve J.B. Rasmussen, *Primary consumer $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ and the trophic position of aquatic consumers*. Ecology. **80**(4): 1395-1404, 1999.
108. Meyers, P. ve J. Teranes, *Sediment Organic Matter*, in *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*, W. Last and J. Smol, Editors. 2001, Springer Netherlands. p. 239-269.
109. Rosenbauer, R.J., et al., *A carbon, nitrogen, and sulfur elemental and isotopic study in dated sediment cores from the Louisiana Shelf*. Geo-Marine Letters. **29**(6): 415-429, 2009.
110. Reddy, K., et al., *Forms of soil phosphorus in selected hydrologic units of the Florida Everglades*. Soil Science Society of America Journal. **62**(4): 1134-1147, 1998.
111. El-Dewiny, C., K.S. Moursy, ve H. El-Aila, *Effect of organic matter on the release and availability of phosphorus and their effects on spinach and radish plants*. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences. **2**(3): 103-108, 2006.
112. Nayak, D.R., et al., *Calculating carbon savings from wind farms on Scottish peat lands—a new approach*. School of Biological Science, University of

- Aberdeen, and Macaulay Land Use Research Institute, Aberdeen, UK. 2008.
113. Altor, A.E. ve W.J. Mitsch, *Methane flux from created riparian marshes: relationship to intermittent versus continuous inundation and emergent macrophytes*. Ecological Engineering. **28**(3): 224-234, 2006.
 114. Houghton, J.T. ve B.A. Callander, *Climate change 1992: the supplementary report to the IPCC scientific assessment*. 1992: Cambridge University Press.
 115. Craft, C. ve C. Richardson, *Peat accretion and N, P, and organic C accumulation in nutrient-enriched and unenriched Everglades peatlands*. Ecological Applications. 446-458, 1993.

EKLER

EK 1. Sulak Alan Sedimentlerinin Fiziksel Özellikleri

Çizelge 1 San Luis UYKA alanından alınan SL_PWL_1 sediment korunun fiziksel özellikleri

Kor	Bulk yoğunluk, g/cm ³	Nem İçeriği, g/g	Kum, %	Silt, %	Kil, %	Özelligi
SL_PWL_1-1	1,423	0,509	35,70	23,37	40,93	Killi Tın
SL_PWL_1-2	1,690	0,380	32,58	18,89	48,54	Kumlu Killi Tın
SL_PWL_1-3	2,101	0,225	24,23	21,47	54,31	Kumlu Killi Tın
SL_PWL_1-4	2,414	0,142	20,14	17,40	62,46	Kumlu Killi Tın
SL_PWL_1-5	2,356	0,156	22,94	14,16	62,89	Kumlu Killi Tın
SL_PWL_1-6	2,366	0,027	20,06	14,86	65,09	Kumlu Killi Tın
SL_PWL_1-7	1,853	0,477	20,13	23,10	56,76	Kumlu Killi Tın

Çizelge 2 San Luis UYKA alanından alınan SL_PWL_2 sediment korunun fiziksel özellikleri

Kor Adı	Bulk yoğunluk, g/cm ³	Nem İçeriği, g/g	Kum, %	Silt, %	Kil, %	Özelligi
SL_PWL_2-1	1,061	0,806	37,53	15,97	46,50	Kumlu Kil
SL_PWL_2-2	1,598	0,409	34,05	14,49	51,47	Kumlu Killi Tın
SL_PWL_2-3	1,896	0,254	25,71	23,85	50,44	Kumlu Killi Tın
SL_PWL_2-4	2,255	0,161	20,74	19,25	60,01	Kumlu Killi Tın
SL_PWL_2-5	2,267	0,154	28,66	18,75	52,58	Kumlu Killi Tın
SL_PWL_2-6	2,030	0,316	22,07	14,44	63,50	Kumlu Killi Tın
SL_PWL_2-7	2,273	0,170	21,06	13,02	65,92	Kumlu Killi Tın
SL_PWL_2-8	2,211	0,172	23,07	14,27	62,66	Kumlu Killi Tın
SL_PWL_2-9	2,123	0,164	20,60	13,38	66,02	Kumlu Killi Tın
SL_PWL_2-10	2,276	0,169	21,39	13,89	64,71	Kumlu Killi Tın

Çizelge 3 San Luis UYKA alanından alınan SL_SWL_1 sediment korunun fiziksel özellikleri

Kor Adı	Bulk yoğunluk, g/cm ³	Nem İçeriği, g/g	Kum, %	Silt, %	Kil, %	Özelliği
SL_SWL_1-1	1,676	0,228	27,29	19,15	53,57	Kumlu Killi Tın
SL_SWL_1-2	1,976	0,187	18,44	3,24	78,32	Kumlu Tın
SL_SWL_1-3	2,150	0,175	16,46	0,00	83,54	Kumlu Tın
SL_SWL_1-4	2,191	0,186	16,43	0,00	83,57	Kumlu Tın
SL_SWL_1-5	2,092	0,178	20,83	0,00	79,17	Kumlu Killi Tın
SL_SWL_1-6	2,092	0,181	15,53	0,00	84,47	Kumlu Tın
SL_SWL_1-7	2,026	0,179	15,44	0,00	84,57	Kumlu Tın
SL_SWL_1-8	2,182	0,172	18,84	0,00	81,16	Kumlu Tın
SL_SWL_1-9	2,142	0,157	18,32	0,00	81,68	Kumlu Tın
SL_SWL_1-10	2,197	0,147	18,73	0,00	81,27	Kumlu Tın
SL_SWL_1-11	2,148	0,143	16,11	2,83	81,07	Kumlu Tın
SL_SWL_1-12	2,300	0,159	15,76	2,76	81,48	Kumlu Tın

Çizelge 4 San Luis UYKA alanından alınan SL_SWL_2 sediment korunun fiziksel özellikleri

Kor Adı	Bulk yoğunluk, g/cm ³	Nem İçeriği, g/g	Kum, %	Silt, %	Kil, %	Özelliği
SL_SWL_2-1	1,812	0,247	7,71	13,02	79,26	Kil
SL_SWL_2-2	2,034	0,208	7,71	13,02	79,26	Kil
SL_SWL_2-3	2,144	0,190	6,42	11,67	81,91	Kil
SL_SWL_2-4	2,200	0,182	6,42	11,67	81,91	Kil
SL_SWL_2-5	2,208	0,169	6,02	11,73	82,25	Kil
SL_SWL_2-6	2,195	0,169	6,02	11,73	82,25	Kil
SL_SWL_2-7	2,147	0,168	6,19	10,45	83,36	Kil
SL_SWL_2-8	2,236	0,167	6,19	10,45	83,36	Kil
SL_SWL_2-9	2,212	0,157	8,46	12,09	79,45	Kil
SL_SWL_2-10	2,233	0,148	8,46	12,09	79,45	Kil
SL_SWL_2-11	2,156	0,150	6,62	10,24	83,14	Kil
SL_SWL_2-12	2,215	0,150	6,62	10,24	83,14	Kil
SL_SWL_2-13	2,174	0,150	6,62	10,24	83,14	Kil

EK 2. Sulak Alan Sedimentlerinin C, N ve P Karakterizasyonu

Çizelge 1 San Joaquin UYKA alanından alınan SJR-CR-1 sediment korundaki organik madde, karbon ve nütrient karakterizasyonu

Kor	pH	% OM	% TC	% OC	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	% TN	TP (mg/kg)
SJR_CR_1-1	6,73	7,37	1,869	1,202	-27,8621	0,161	1013,8
SJR_CR_1-2	6,8	5,62	1,136	0,924	-26,3286	0,115	850,5
SJR_CR_1-3	6,8	5,81	0,980	0,820	-26,9601	0,132	884,9
SJR_CR_1-4	7	5,54	1,049	0,856	-26,3963	0,146	834,1
SJR_CR_1-5	7,01	5,14	1,100	0,902	-25,9020	0,156	935,7
SJR_CR_1-6	6,63	5,78	1,204	1,002	-27,1978	0,167	976,1
SJR_CR_1-7	6,5	6,19	1,277	0,988	-25,6465	0,137	973,3
SJR_CR_1-8	7,32	5,14	0,986	0,843	-25,7940	0,135	666,7
SJR_CR_1-9	6,52	5,52	1,005	0,806	-25,8729	0,133	981,9
SJR_CR_1-10	6,17	6,74	1,239	0,970	-26,2770	0,138	1099,5
SJR_CR_1-11	6,18	6,05	1,373	1,046	-26,2535	0,153	1006,1
SJR_CR_1-12	5,88	6,24	1,369	1,090	-26,2882	0,161	911,4
SJR_CR_1-13	6,14	6,49	1,223	0,996	-25,9453	0,157	842,5
SJR_CR_1-14	5,75	4,79	1,106	0,830	-25,8156	0,146	706,2

Çizelge 2 San Joaquin UYKA alanından alınan SJR-CR-2 sediment korundaki organik madde, karbon ve nütrient karakterizasyonu

Kor	pH	% OM	% TC	% OC	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	% TN	TP (mg/kg)
SJR_CR_2-1	6,49	3,36	1,351	1,180	-27,2723	0,130	568,0
SJR_CR_2-2	6,62	2,94	0,734	0,648	-27,5852	0,079	719,0
SJR_CR_2-3	6,68	2,09	0,404	0,420	-27,2829	0,083	583,6
SJR_CR_2-4	6,57	2,23	0,428	0,394	-27,4059	0,088	684,2
SJR_CR_2-5	6,57	2,37	0,420	0,372	-27,8322	0,090	680,0
SJR_CR_2-6	6,57	2,52	0,479	0,445	-27,4796	0,098	680,5
SJR_CR_2-7	6,61	2,53	0,510	0,428	-27,0634	0,085	944,6
SJR_CR_2-8	6,66	1,93	0,396	0,374	-27,6859	0,085	715,4
SJR_CR_2-9	6,72	2,76	0,600	0,503	-27,02	0,097	1009,1
SJR_CR_2-10	6,63	1,62	0,317	0,305	-27,8664	0,071	625,5
SJR_CR_2-11	6,67	2,33	0,402	0,400	-27,1316	0,085	1074,2

Çizelge 3 San Luis UYKA alanından alınan SL-PWL-1 sediment korundaki organik madde, karbon ve nütrient karakterizasyonu

Kor Adı	pH	% OM	% TC	% OC	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	% TN	TP (mg/kg)
SL_PWL_1-1	6,32	7,55	2,891	2,708	-28,4522	0,221	744,8
SL_PWL_1-2	7,8	5,16	1,747	1,496	-27,6423	0,113	981,0
SL_PWL_1-3	7,95	4,22	1,310	1,011	-28,5065	0,118	1167,3
SL_PWL_1-4	9,17	1,40	0,713	0,111	-23,1597	0,024	1367,2
SL_PWL_1-5	9,26	1,69	0,751	0,083	-23,4978	0,023	1350,9
SL_PWL_1-6	9,41	1,47	0,414	0,141	-24,1234	0,023	1249,6
SL_PWL_1-7	8,99	2,51	1,103	0,582	-27,2940	0,048	1528,7

Çizelge 4 San Luis UYKA alanından alınan SL-PWL-2 sediment korundaki organik madde, karbon ve nütrient karakterizasyonu

Kor Adı	pH	% OM	% TC	% OC	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	% TN	TP (mg/kg)
SL_PWL_2-1	7,07	8,25	3,907	3,631	-29,2625	0,379	661,5
SL_PWL_2-2	7,09	4,71	1,913	1,718	-27,2538	0,188	647,1
SL_PWL_2-3	6,97	4,00	1,642	1,608	-27,0368	0,156	431,7
SL_PWL_2-4	7,09	1,71	0,333	0,390	-25,3988	0,052	501,2
SL_PWL_2-5	7,42	1,50	0,220	0,340	-25,7288	0,033	765,4
SL_PWL_2-6	7,63	1,62	0,232	0,127	-25,7760	0,026	537,6
SL_PWL_2-7	7,55	1,81	0,172	0,095	-26,2083	0,022	1006,1
SL_PWL_2-8	7,55	1,69	0,132	0,094	-26,1920	0,021	1014,3
SL_PWL_2-9	7,65	1,73	0,494	0,111	-25,9156	0,021	1241,4
SL_PWL_2-10	7,62	1,66	0,541	0,115	-26,5303	0,023	1511,9

Çizelge 5 San Luis UYKA alanından alınan SL-SWL-1 sediment korundaki organik madde, karbon ve nütrient karakterizasyonu

Kor Adı	pH	% OM	% TC	% OC	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	% TN	TP (mg/kg)
SL_SWL_1-1	7,56	6,46	2,518	2,376	-25,2176	0,229	2650,10
SL_SWL_1-2	8,41	4,77	1,959	1,894	-24,0739	0,161	3224,1
SL_SWL_1-3	8,7	3,79	1,446	1,367	-24,3613	0,112	3400,5
SL_SWL_1-4	8,98	3,62	1,399	0,994	-23,2237	0,095	3457,7
SL_SWL_1-5	9,04	3,55	1,292	0,883	-23,1641	0,079	3488,7
SL_SWL_1-6	9,44	2,84	1,174	0,645	-23,3543	0,066	3983,5
SL_SWL_1-7	9,53	3,09	1,126	0,534	-23,2498	0,053	4061,1
SL_SWL_1-8	9,65	2,88	1,733	0,380	-23,2004	0,042	4237,7
SL_SWL_1-9	9,86	2,64	2,053	0,288	-23,5520	0,032	1800,3
SL_SWL_1-10	9,87	2,62	1,971	0,269	-21,2068	0,029	1536,9
SL_SWL_1-11	9,8	2,43	2,140	0,159	-22,8378	0,026	1303,6
SL_SWL_1-12	9,86	2,61	2,570	0,155	-23,0167	0,028	1233,8

Çizelge 6 San Luis UYKA alanından alınan SL-SWL-2 sediment korundaki organik madde, karbon ve nütrient karakterizasyonu

Kor Adı	pH	% OM	% TC	% OC	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	% TN	TP (mg/kg)
SL_SWL_2-1	8,71	6,26	3,149	2,664	-22,6765	0,245	10313,16
SL_SWL_2-2	9,00	4,51	2,153	1,683	-22,074	0,183	9327,90
SL_SWL_2-3	9,55	2,85	1,625	0,845	-19,6283	0,087	10316,93
SL_SWL_2-4	9,75	2,21	1,389	0,450	-19,26	0,047	9921,62
SL_SWL_2-5	9,78	2,02	1,076	0,350	-18,93	0,035	10118,85
SL_SWL_2-6	9,81	2,28	1,153	0,480	-18,89	0,039	9333,59
SL_SWL_2-7	8,03	2,60	1,411	0,460	-17,71	0,039	8882,22
SL_SWL_2-8	8,14	2,48	1,193	0,350	-17,94	0,033	7102,14
SL_SWL_2-9	8,24	2,35	1,169	0,330	-18,75	0,034	8071,75
SL_SWL_2-10	9,91	2,66	1,444	0,521	-17,5725	0,032	6842,62
SL_SWL_2-11	8,70	2,90	1,883	0,410	-18,37	0,030	6884,09
SL_SWL_2-12	9,87	2,71	1,717	0,350	-18,96	0,033	5418,01
SL_SWL_2-13	8,62	2,28	1,581	0,302	-19,0889	0,021	3255,51

EK 3. ^{210}Pb , Sedimentasyon Hızı ve Tarihlendirme

Çizelge 1 San Jaoquin UYKA alanından alınan SJR_CR_1 sediment korundaki denge üstü $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ ve sediment birikim hızları

Kor	Derinlik, cm	$^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ (Bq/kg)	$\pm$ (Bq/kg)	t, yıl	r, cm/y	r, g/cm ² ,y
SJR_CR_1-1	2,5	31	3	1,79	2,79	4,95
SJR_CR_1-2	7,5	25,8	3,4	1,57	3,18	5,64
SJR_CR_1-3	12,5	44	5	2,87	1,74	3,09
SJR_CR_1-4	17,5	42	4	3,01	1,66	2,95
SJR_CR_1-5	22,5	41	4	3,23	1,55	2,74
SJR_CR_1-6	27,5	41	3	3,60	1,39	2,47
SJR_CR_1-7	32,5	38	3	3,74	1,34	2,37
SJR_CR_1-8	37,5	35	3	3,87	1,29	2,29
SJR_CR_1-9	42,5	37	3	4,68	1,07	1,90
SJR_CR_1-10	47,5	41	5	6,13	0,82	1,45
SJR_CR_1-11	52,5	45	4	8,43	0,59	1,05
SJR_CR_1-12	57,5	60	6	16,40	0,30	0,54
SJR_CR_1-13	62,5	52	4	27,69	0,18	0,32

Çizelge 2 San Jaoquin UYKA alanından alınan SJR_CR_2 sediment korundaki denge üstü $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ ve sediment birikim hızları

Kor	Derinlik, cm	$^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ (Bq/kg)	$\pm$ (Bq/kg)	t, yıl	r, cm/y	r, g/cm ² ,y
SJR_CR_2-1	2,5	35,9	3,6	3,46	1,45	3,07
SJR_CR_2-2	7,5	39,6	3,5	4,30	1,16	2,46
SJR_CR_2-3	12,5	33,2	3,8	4,11	1,22	2,58
SJR_CR_2-4	17,5	30,7	2,3	4,34	1,15	2,45
SJR_CR_2-5	22,5	32,1	3,5	5,26	0,95	2,01
SJR_CR_2-6	27,5	31,2	3	6,10	0,82	1,74
SJR_CR_2-7	32,5	30,8	2,7	7,43	0,67	1,43
SJR_CR_2-8	37,5	30	2,9	9,39	0,53	1,13
SJR_CR_2-9	42,5	27,7	3,3	12,09	0,41	0,88
SJR_CR_2-10	47,5	39	4	33,13	0,15	0,32

Çizelge 3 San Luis UYKA alanından alınan SL_PWL_1 sediment korundaki denge üstü $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ ve sediment birikim hızları

Kor Adı	Derinlik, cm	$^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ (Bq/kg)	$\pm$ (Bq/kg)	t, yıl	r, cm/y	r, g/cm ² ,y
SL_PWL_1-1	2,5	68,8	6,5	5,06	0,99	1,41
SL_PWL_1-2	7,5	64,6	5,4	5,60	0,89	1,51
SL_PWL_1-3	12,5	57,7	3,5	5,99	0,83	1,75
SL_PWL_1-4	17,5	53,5	4,3	6,78	0,74	1,78
SL_PWL_1-5	22,5	52,9	5,1	8,49	0,59	1,39
SL_PWL_1-6	27,5	46	4,7	9,81	0,51	1,21
SL_PWL_1-7	32,5	60	5,7	20,14	0,25	0,46

Çizelge 4 San Luis UYKA alanından alınan SL_PWL_2 sediment korundaki denge üstü $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ ve sediment birikim hızları

Kor Adı	Derinlik, cm	$^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ (Bq/kg)	$\pm$ (Bq/kg)	t, yıl	r, cm/y	r, g/cm ² ,y
SL_PWL_2-1	2,5	87,3	8,1	4,70	1,06	1,13
SL_PWL_2-2	7,5	66,7	4,3	4,12	1,21	1,94
SL_PWL_2-3	12,5	56,3	4,7	3,94	1,27	2,41
SL_PWL_2-4	17,5	62,3	6,1	5,01	1,00	2,25
SL_PWL_2-5	22,5	62,3	4,1	5,94	0,84	1,91
SL_PWL_2-6	27,5	65,2	3,9	7,68	0,65	1,32
SL_PWL_2-7	32,5	73,3	4,7	11,62	0,43	0,98
SL_PWL_2-8	37,5	58,3	4,5	13,67	0,37	0,81
SL_PWL_2-9	42,5	44,9	3,6	16,87	0,30	0,63

Çizelge 5 San Luis UYKA alanından alınan SL_SWL_1 sediment korundaki denge üstü $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ ve sediment birikim hızları

Kor	Derinlik, cm	$^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ (Bq/kg)	$\pm$ (Bq/kg)	t, yıl	r, cm/y	r, g/cm ² ,y
SL_SWL_1-1	2,5	46,5	4,1	2,97	1,68	2,82
SL_SWL_1-2	7,5	48,5	3,1	3,42	1,46	2,89
SL_SWL_1-3	12,5	35,6	3,8	2,77	1,81	3,89
SL_SWL_1-4	17,5	49,4	4,3	4,28	1,17	2,56
SL_SWL_1-5	22,5	32,5	3,5	3,17	1,58	3,30
SL_SWL_1-6	27,5	47,1	3,6	5,22	0,96	2,00
SL_SWL_1-7	32,5	42,1	4,8	5,52	0,91	1,84
SL_SWL_1-8	37,5	48,5	3,8	7,82	0,64	1,40
SL_SWL_1-9	42,5	45,5	3,7	9,61	0,52	1,11
SL_SWL_1-10	47,5	39,5	4	11,58	0,43	0,95
SL_SWL_1-11	52,5	40,8	4	19,10	0,26	0,56

Çizelge 6 San Luis UYKA alanından alınan SL_SWL_2 sediment korundaki denge üstü $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ ve sediment birikim hızları

Kor	Derinlik, cm	$^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}(\text{Bq/kg})$	$\pm (\text{Bq/kg})$	t, yıl	r, cm/y	r, g/cm ² ,y
SL_SWL_2-1	2,5	32,30	3,2	1,99	2,517	4,56
SL_SWL_2-2	7,5	45,30	4,1	3,01	1,660	3,38
SL_SWL_2-3	12,5	35,10	2,6	2,54	1,965	4,21
SL_SWL_2-4	17,5	38,90	3,2	3,08	1,625	3,57
SL_SWL_2-5	22,5	42,20	2,7	3,71	1,348	2,98
SL_SWL_2-6	27,5	37,40	3,2	3,69	1,355	2,98
SL_SWL_2-7	32,5	39,50	3,7	4,42	1,131	2,43
SL_SWL_2-8	37,5	40,60	3,8	5,28	0,947	2,12
SL_SWL_2-9	42,5	45,20	2,9	7,13	0,702	1,55
SL_SWL_2-10	47,5	46,10	4,1	9,39	0,533	1,19
SL_SWL_2-11	52,5	50,50	4,6	14,93	0,335	0,72
SL_SWL_2-12	57,5	47,60	3,1	26,22	0,191	0,42