

T.C.
ORDU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Cd ve Pb'nin DOĞAL ORTAMDA, *Lemna minor* ÜZERİNDEKİ
KOMBİNE TOKSİK ETKİSİ

UFUK BURAK

YÜKSEK LİSANS

ORDU 2017

TEZ ONAY

Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Ufuk BURAK tarafından hazırlanan ve Doç. Dr. Evren TUNCA danışmanlığında yürütülen “Cd ve Pb’nin Doğal Ortamda, *Lemna minor* Üzerindeki Kombine Toksik Etkisi” adlı bu tez, jürimiz tarafından 20 / 01 / 2017 tarihinde oy birliği / oy çokluğu ile Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Evren TUNCA

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Mustafa Can CANOĞLU

Çevre Mühendisliği Sinop Üniversitesi

İmza :

Üye : Doç. Dr. Evren TUNCA

Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Mühendisliği
Ordu Üniversitesi

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hasan TÜRE

Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Mühendisliği
Ordu Üniversitesi

İmza :

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu’nun 26/01/2017 tarih ve 2017/46 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

09/02/2017..



Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Kemal KORKMAZ

TEZ BİLDİRİMİ

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdığı yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

İmza

Ufuk BURAK

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

ÖZET

Cd ve Pb'nin DOĞAL ORTAMDA, *Lemna minor* ÜZERİNDEKİ KOMBİNE TOKSİK ETKİSİ

Ufuk BURAK

Ordu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Balıkçılık Teknolojisi Anabilim Dalı, 2016

Yüksek Lisans Tezi, 60s.

Danışman: Doç. Dr. Evren TUNCA

Ağır metaller günümüzde en yaygın rastlanılan çevre kirleticilerindedir. Özellikle sucul ekosistemler başta olmak üzere yeryüzündeki tüm ekosistemler ağır metallerin yaratmakta olduğu toksik etkilerden olumsuz olarak etkilenmektedirler. Pek çok laboratuvar çalışmasının aksine doğada metaller tek tek bulunmazlar. Çoğu zaman tek bir kirletici kaynak aynı anda birden fazla metalin doğaya karışmasından sorumludur. Bu durum doğadaki pek çok canlının aslında tek bir metale değil de aynı anda birden fazla metale maruz kalmasına yol açar. Buna paralel olarakta canlılarda ağır metallerin kombine toksik etkileri görülür. Canlılarda ayrı ayrı ağır metallere maruz kaldıkları zaman görülen etki ile birden fazla ağır metale aynı anda maruz kaldıkları zaman görülen etki çoğu zaman birbirlerinden farklıdır. Bu durum kombine toksik etki olarak adlandırılır. Gerçekleştirilen bu çalışmanın amacı doğal ortamdan elde edilen midyumda kültüre alınan *Lemna minor* üzerinde Cd ve Pb'nin kombine toksik etkilerini saptamaktır.

Çalışma 1 hafta sürdürülerek Cd ve Pb'nin 5 farklı dozu hem kombine olarak hem de teker teker tüm kombinasyonlar halinde canlıya verilmiştir. Çalışmada kullanılacak canlı olan *L. minor*, toksisite çalışmalarında sıklıkla kullanılan son derece önemli bir biyoindikatör türüdür. Çalışmanın sonucunda da ağır metallerin teker teker uygulandığında görülen etki ile beraber uygulandıklarında görülen etki kıyaslanmıştır. Bu kıyaslama yaprak sayılarındaki artış üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak, hem Cd hem Pb'nin 0,5 mg/l konsantrasyonunda. sinerjistik etki görülmüştür. 1mg/l ve 2 mg/l'lik konsantrasyonlarda, konsantrasyon artışlarına bağlı olarak sinerjistik etki sayısında azalma görülürken, 4 mg/l'lik maksimum konsantrasyonda sinerjistik etki sayısında tekrar artış görülmüştür. En düşük konsantrasyon olan 0,1 mg/l'lik konsantrasyonda etkiler tüm kombinasyonlar için additive olarak bulunmuştur. Tüm çalışma için etkinin antagonistik olduğu herhangi bir durum söz konusu değildir. Regrasyon analizi ile oluşturulan büyüme tahmin modellerine göre tüm modeller için en uygun olan kübik yani 3. dereceden modeller büyümeyi en yüksek r^2 değeri ile tahmin etmiştir. Tüm modellerin r^2 değerleri 0,99 değerinden büyük olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kadmiyum, Kombine toksik etki, Kurşun, Su mercimeği

ABSTRACT

COMBINED TOXIC EFFECTS of Cd and Pb ON *Lemna Minor* in THE NATURAL ENVIRONMENT

Ufuk BURAK

Ordu University
Institute of Science and Technology
Department of Fisheries Technology, 2016
MSc. Thesis, 60p.

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Evren TUNCA

Heavy metals are among the most commonly encountered environmental pollutants today. All ecosystems on earth particularly in aquatic ecosystems are affected negatively by the toxic effects of heavy metals that are creating. Unlike many of the lab works, metals do not exist separately in nature. Most of the time, a single pollution source is responsible for landfills of more than one metal at the same time. This case leads many living creatures to exposure of more than one metal, not a single metal. Parallel to this, combined toxic effects of heavy metals on living creatures are seen. For living creatures, the effect seen when exposed to heavy metals separately and the effect seen when they are exposed to more than one heavy metal at the same time are often different. This is known as the combined toxic effects.

The aim of this study is to determine the combined toxic effects of Cd and Pb on *Lemna Minor* cultured in mussels obtained from natural environment. 5 different doses Cd and Pb are given to the living in all combinations, both one by one and in a combined way. *L. Minor* used in this study is extremely important bioindicator species often used in toxicity studies. At the end of the study, the effect seen when exposed to heavy metals separately and the effect seen when they are exposed to more than one heavy metal at the same time are compared. This comparison is done through an increase in the number of leaves. As a result, a synergistic effect is observed in 0.5 mg / l of Cd and Pb concentration. While depending on the concentration increase in 1 mg/l and 2 mg/l concentration a decrease is seen on the number of synergistic effects, in 4 mg / l maximum concentration, synergistic increase is seen again. In 0,1 mg/l lowest concentration, effects are found as additive for all combinations. For the whole study in any case which has the antagonistic effect is not mentioned. According to the growth prediction model created by a regression analysis, cubic which is the most suitable for all models, that is 3 degrees models estimate growth with the highest R² value. All models of the r² values are found to be greater than 0.99.

Key Words: Cadmium, Combined toxic effects, Duckweed, Lead

TEŞEKKÜR

Hem bu zorlu ve uzun sűreçte hem de hayatım boyunca yanımda olan ve ideallerimi gerçekteřtirmemi saęlayan deęerli aileme yűrekten teőekkűrű bir borç bilirim.

Tűm çalıőmalarım boyunca her zaman bilgi ve deneyimleriyle yolumu aan deęerli hocam Doç. Dr. Evren TUNCA' ya iten teőekkűrlerimi sunarım.

Ayrıca, Ordu Ŭniversitesi Bilimsel Araőtırma Projeleri Komisyonu Baőkanlıęı' na TF-1525 Nolu projeye desteğinden dolayı teőekkűrlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ	I
ÖZET	II
ABSTRACT.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
TEŞEKKÜR	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VI
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kadmiyum İle İlgili Genel.Bilgiler.....	3
1.2. Kurşun İle İlgili Genel ilgiler.....	4
1.3. Lemnaceae	4
1.4. <i>Lemna minör</i> (Linneaus 1753).....	5
2. KAYNAK ÖZETLERİ	7
3. MATARYEL ve YÖNTEM	10
3.1. Kültür Şartları.....	10
3.2. Kullanılan Ekipmanlar.....	10
3.3. Deney Yöntemi.....	10
4. BULGULAR	13
5. TARTIŞMA.....	51
6. SONUÇ	56
7. KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	60

ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Sekil No</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1.	0 mg/l Cd için verilen farklı Pb dozları	11
Şekil 3.2.	0 mg/l Pb için verilen farklı Cd dozları	11
Şekil 3.3.	0,1 mg/l Cd için verilen farklı Pb dozları	11
Şekil 3.4.	0,4 mg/l Cd için verilen farklı Pb dozları	12
Şekil 3.5.	1 mg/l Cd için verilen farklı Pb dozları	12
Şekil 3.6.	2 mg/l Cd için verilen farklı Pb dozları	12
Şekil 3.7.	4 mg/l Cd için verilen farklı Pb dozları	13
Şekil 4.1.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 0,1 mg/l değerinde regrasyon grafiği	15
Şekil 4.2.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 0,5 mg/l değerinde regrasyon grafiği	16
Şekil 4.3.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 1 mg/l değerinde regrasyon grafiği	17
Şekil 4.4.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 2 mg/l değerinde regrasyon grafiği	18
Şekil 4.5.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 4 mg/l değerinde regrasyon grafiği	19
Şekil 4.6.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Pb 0,1 mg/l değerinde regrasyon grafiği	20
Şekil 4.7.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Pb 0,5 mg/l değerinde regrasyon grafiği	21
Şekil 4.8.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Pb 1 mg/l değerinde regrasyon grafiği	22
Şekil 4.9.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Pb 2 mg/l değerinde regrasyon grafiği	23
Şekil 4.10.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Pb 4 mg/l değerinde regrasyon grafiği	24
Şekil 4.11.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 0,1 mg/l Pb 4 mg/l değerinde regrasyon grafiği	25
Şekil 4.12.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 0,1 mg/l Pb 2 mg/l değerinde regrasyon grafiği	26
Şekil 4.13.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 0,1 mg/l Pb 1 mg/l değerinde regrasyon grafiği	27
Şekil 4.14.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 0,1 mg/l Pb 0,5 mg/l değerinde regrasyon grafiği	28
Şekil 4.15.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 0,1 mg/l Pb 0,1 mg/l değerinde regrasyon grafiği	29
Şekil 4.16.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 0,5 mg/l Pb 4 mg/l değerinde regrasyon grafiği	30
Şekil 4.17.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 0,5 mg/l Pb 2 mg/l değerinde regrasyon grafiği	31
Şekil 4.18.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 0,5 mg/l Pb 1 mg/l değerinde regrasyon grafiği	32
Şekil 4.19.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 0,5 mg/l Pb 0,5 mg/l değerinde regrasyon grafiği	33
Şekil 4.20.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 0,5 mg/l Pb 0,1 mg/l değerinde regrasyon grafiği	34
Şekil 4.21.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 1 mg/l Pb 4 mg/l değerinde regrasyon grafiği	35
Şekil 4.22.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 1 mg/l Pb 2 mg/l değerinde regrasyon grafiği	36

Şekil 4.23.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 1 mg/l Pb 1 mg/l değerinde regrasyon grafiği	37
Şekil 4.24.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 1 mg/l Pb 0,5 mg/l değerinde regrasyon grafiği	38
Şekil 4.25.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 1 mg/l Pb 0,1 mg/l değerinde regrasyon grafiği	39
Şekil 4.26.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 2 mg/l Pb 4 mg/l değerinde regrasyon grafiği	40
Şekil 4.27.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 2 mg/l Pb 2 mg/l değerinde regrasyon grafiği	41
Şekil 4.28.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 2 mg/l Pb 1 mg/l değerinde regrasyon grafiği	42
Şekil 4.29.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 2 mg/l Pb 0,5 mg/l değerinde regrasyon grafiği	43
Şekil 4.30.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 2 mg/l Pb 0,1 mg/l değerinde regrasyon grafiği	44
Şekil 4.31.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 4 mg/l Pb 4 mg/l değerinde regrasyon grafiği	45
Şekil 4.32.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 4 mg/l Pb 2 mg/l değerinde regrasyon grafiği	46
Şekil 4.33.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 4 mg/l Pb 1 mg/l değerinde regrasyon grafiği	47
Şekil 4.34.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 4 mg/l Pb 0,5 mg/l değerinde regrasyon grafiği	48
Şekil 4.35.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde Cd 4 mg/l Pb 0,1 mg/l değerinde regrasyon grafiği	49
Şekil 4.36.	<i>Lemna minor</i> bitkisinde kontrol grubu için regrasyon grafiği	50

ÇİZELGELER LİSTESİ

<u>Cizelge No</u>		<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1.	Endüstriyel kaynaklardan çevreye yayılan başlıca metaller	1
Çizelge 1.2.	İçme Sularında Ağır Metal Limitleri (mg/litre)	2
Çizelge 1.3.	Kadmiyum metali ile ilgili genel bilgiler	3
Çizelge 1.4.	Kurşun metali ile ilgili genel bilgiler	4
Çizelge 1.5.	Su mercimeklerinde en iyi gelişme şartları	6
Çizelge 4.1.	Cd 0,1 mg/l için yaprak sayıları	15
Çizelge 4.2.	Cd 0,5 mg/l için yaprak sayıları	16
Çizelge 4.3.	Cd 1 mg/l için yaprak sayıları	17
Çizelge 4.4.	Cd 2 mg/l için yaprak sayıları	18
Çizelge 4.5.	Cd 4 mg/l için yaprak sayıları	19
Çizelge 4.6.	Pb 0,1 mg/l için yaprak sayıları	20
Çizelge 4.7.	Pb 0,5 mg/l için yaprak sayıları	21
Çizelge 4.8.	Pb 1 mg/l için yaprak sayıları	22
Çizelge 4.9.	Pb 2 mg/l için yaprak sayıları	23
Çizelge 4.10.	Pb 4 mg/l için yaprak sayıları	24
Çizelge 4.11.	Cd 0,1 mg/l Pb 4 mg/l için yaprak sayıları	25
Çizelge 4.12.	Cd 0,1 mg/l Pb 2 mg/l için yaprak sayıları	26
Çizelge 4.13.	Cd 0,1 mg/l Pb 1 mg/l için yaprak sayıları	27
Çizelge 4.14.	Cd 0,1 mg/l Pb 0,5 mg/l için yaprak sayıları	28
Çizelge 4.15.	Cd 0,1 mg/l Pb 0,1 mg/l için yaprak sayıları	29
Çizelge 4.16.	Cd 0,5 mg/l Pb 4 mg/l için yaprak sayıları	30
Çizelge 4.17.	Cd 0,5 mg/l Pb 2 mg/l için yaprak sayıları	31
Çizelge 4.18.	Cd 0,5 mg/l Pb 1 mg/l için yaprak sayıları	32
Çizelge 4.19.	Cd 0,5 mg/l Pb 0,5 mg/l için yaprak sayıları	33
Çizelge 4.20.	Cd 0,5 mg/l Pb 0,1 mg/l için yaprak sayıları	34
Çizelge 4.21.	Cd 1 mg/l Pb 4 mg/l için yaprak sayıları	35

Çizelge 4.22.	Cd 1 mg/l Pb 2 mg/l için yaprak sayıları	36
Çizelge 4.23.	Cd 1 mg/l Pb 1 mg/l için yaprak sayıları	37
Çizelge 4.24.	Cd 1 mg/l Pb 0,5 mg/l için yaprak sayıları	38
Çizelge 4.25.	Cd 1 mg/l Pb 0,1 mg/l için yaprak sayıları	39
Çizelge 4.26.	Cd 2 mg/l Pb 4 mg/l için yaprak sayıları	40
Çizelge 4.27.	Cd 2 mg/l Pb 2 mg/l için yaprak sayıları	41
Çizelge 4.28.	Cd 2 mg/l Pb 1 mg/l için yaprak sayıları	42
Çizelge 4.29.	Cd 2 mg/l Pb 0,5 mg/l için yaprak sayıları	43
Çizelge 4.30.	Cd 2 mg/l Pb 0,1 mg/l için yaprak sayıları	44
Çizelge 4.31.	Cd 4 mg/l Pb 4 mg/l için yaprak sayıları	45
Çizelge 4.32.	Cd 4 mg/l Pb 2 mg/l için yaprak sayıları	46
Çizelge 4.33.	Cd 4 mg/l Pb 1 mg/l için yaprak sayıları	47
Çizelge 4.34.	Cd 4 mg/l Pb 0,5 mg/l için yaprak sayıları	48
Çizelge 4.35.	Cd 4 mg/l Pb 0,1 mg/l için yaprak sayıları	49
Çizelge 4.36.	Kontrol grubu için yaprak sayıları	50
Çizelge 5.1.	Cd ve Pb'nin <i>Lemna minor</i> üzerindeki tekli metal etkileri	52
Çizelge 5.2.	Cd ve Pb'nin <i>Lemna minor</i> üzerindeki kombine toksik etkisi	53

SİMGELER ve KISALTMALAR

As	: Arsenik
As ₂ O ₃	: Arsenik trioksit
C	: Konsanrasyon
Cd	: Kadmiyum
cm	: Santimetre
cm ³	: Santimetre küp
CdCl ₂ .H ₂ O	: Kadmiyum klorit
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
EC50	: Ortalama Etkili Konsantrasyon
Fe	: Demir
g	: gram
Hg	: Civa
Kg	: Kilogram
KOI	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
L	: Litre
m	: Metre
mg	: Miligram
mm	: Milimetre
Mn	: Mangan
N	: Azot
NH ₃ -N	: Amonyak azotu
Ni	: Nikel
NO ₃ -O	: Amonyak oksijeni
P	: Fosfor
Pb	: Kurşun
ppm	: Milyonda bir kısım
PO ₄ -P	: Fosfat fosforu
Pb(NO ₃) ₂	: Kurşun nitrat
Sn	: Kalay
Ti	: Titanyum
Zn	: Çinko
μ	: Mikron
μg	: Mikrongram
μm	: Mikronmetre

°C : Santigrat derece
% : Yüzde

•

1. GİRİŞ

Atom ağırlığı 63 ile 200 arasında değişen, su yoğunluğunun 5 katından fazla olan ve yerkürede doğal olarak bulunan metaller ağır metal olarak adlandırılmaktadır. Bu elementlerin bazıları esansiyel olmakla beraber bir kısmı da canlılar için toksik etki göstermektedir. Ayrıca esansiyel bile olsa belirli dozların üstünde tüm metaller toksiktir (Anton ve ark., 2000).

Ağır metaller doğada karbonat, oksit, slika ve sülfür halinde stabil bileşik olarak veya slika içerisnde bulunur. Çeşitli yollarla çözünen ağır metaller nehir, göl ve yeraltı suları vasıtasıyla su ekosistemi içerisinde yerlerini alırlar. Su içerisinde seyrelen ağır metaller tekrar bileşik oluşturarak sediment içerisinde zenginleşirler. Sınırlı ağır metal toplama kapasitesi olan sedimentin kapasitesinin üstüne çıkılmasına paralel olarak su ortamındaki ağır metal konsantrasyonu da dış etmenlere bağlı olarak artacaktır. Artan dünya nüfusunun çeşitli ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik gelişen termik santraller, demir-çelik sanayi, çimento ve cam fabrikaları, gübre sanayi ve bu gibi pek çok endüstriyel tesis, ağır metallerin bu çevrelerde yoğun olarak artmasına sebep olmaktadır. Çizelge 1.1' de farklı endüstri kaynaklarından yayılan temel metaller incelendiğinde doğaya insan eliyle verilen zararın boyutu ortaya çıkacaktır. Kontrolsüz olarak alıcı ortama bırakılan endüstri atıkları mevcut ekolojik dengeyi bozarak hayatımızı kimi zaman doğrudan etkilerken kimi zaman dolaylı olarak etkilemektedir.

Çizelge 1.1. Endüstriyel kaynaklardan çevreye yayılan başlıca metaller (Kahvecioğlu ve ark., 2006).

Endüstri kolu	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Sn	Zn
Kağıt Endüstrisi	-	+	+	+	+	+	-	-
Klor-alkali Üretim	+	+	-	+	+	-	+	+
Gübre Sanayi	+	+	-	+	+	-	+	+
Demir-Çelik Sanayi	+	+	+	+	+	+	-	+
Enerji Üretimi (Termik)	+	+	+	+	+	+	+	+

Kayaların ve maden cevherlerinin bünyesinde doğal olarak bulunan ağır metaller toprakta, suda, sedimentte ve yaşayan organizmalarda bulunabilir (Alloway ve Ayres, 1993). Su, toprak ve sedimentte bulunan metaller, çeşitli yollarla canlıların bünyesine yerleşerek birikme özelliği gösterir ve belli bir eşik değerin üstünde esansiyel olsun ya da olmasın toksik etki göstererek hasara yol açabilirler (Antón ve ark., 2000). Metallerin toksisitesi ortamda çözünmüş formdaki konsantrasyon seviyesiyle doğru orantılı olarak artış veya azalış gösterebilir. Uzun süreç içerisinde ağır metaller maruz kalmak çeşitli kanserler başta olmak üzere, sinirlilik, uykusuzluk, gelişim geriliği, depresyon gibi birçok olumsuz sağlık problemlerine sebep olabilmektedir (Alcorlo ve ark., 2006). DNA hasarı ve kanserojen etkilere sahip olan söz konusu metaller besin zinciri yoluyla insan ve hayvan vücudunda birikim yaparak mevcut olan tehlikelerini arttırabilirler (Anton ve ark. 2000).

Ağır metaller tarafından kirlenen sucul ortamlar flora ve fauna açısından fakir olup biyo- çeşitlilik olumsuz yönde etkilenmiştir. Kirliliğe maruz kalan doğal ortamların kendini yenileme hızından daha yoğun kirletici unsurlara maruz bırakılması doğayı geri kazanmaksızın kaybetmemize sebep olacaktır. Ekosistem ve canlılar için zararlı olan metallerin insan ihtiyaçlarını karşılamak üzere fazla kullanımı çevre tahribatını hızlandırmıştır. Temel ihtiyaçlarımızı karşıladığımız doğa insanlığın geleceği açısından önem arz ediyorken bilinçsiz kullanımı ilerleyen yıllarda kaynak sahiplenme savaşlarına sebep olacaktır. Sağlık örgütlerinin içilebilir sular için belirlemiş olduğu metal konsantrasyonları Çizelge 1.2’ de gösterildiği gibi olmalıyken çoğu bölgede maalesef bu değerler su ortamının yoğun kirletici unsurlara maruz bırakılması sonucu içilebilir su kaynakları dışına çıkmıştır.

Çizelge 1.2. İçme Sularında Ağır Metal Limitleri (mg/litre) (Aliyeva, 2014)

	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb	Cd
EPA (2012)	0.1	-	-	-	1.3	-	0.015	0.005
EU (1998)	0.05	0.05	0.2	0.02	2	-	0.01	0.005
WHO (1998)	0.05	0.5	0.3	0.02	2	3	0.1	0.003

1.1.Kadmiyum İle İlgili Genel Bilgiler

Çizelge 1.3. Kadmiyum metali ile ilgili genel bilgiler

Sembol	Cd
Atom numarası	48
Atom ağırlığı	112.411 g/mol
Element serisi	Metaller
Maddenin hali	Katı
Yoğunluk	7.86 g/cm ³
Sıvı haldeki yoğunluk	6.98 g/cm ³
Atom yarıçapı	140 pm
Kaynama noktası	2861 °C
Buharlaşma ısısı	762.5 kJ/mol
Kristal yapısı	Hacim merkezli kübik
Yükseltgenme seviyeleri	2, 3, 4, 6
Görünüş	Metalik gri

Kadmiyum periyodik tablonun 2B grubunda bulunan, atom numarası 48, atom ağırlığı 112,411 g/mol ve Cd sembolü ile ifade edilen bir elementtir. Bükülüp şekil verilen, mavimsi beyaz renklere sahip ve nadir bulunan bir geçiş metalidir (Ercal ve ark., 2001). Yer kabuğunda doğal olarak bulunan kadmiyum, genellikle oksijen (kadmiyum oksit), klorin (kadmiyum klorit) veya sülfür (kadmiyum sülfat) gibi elementlerle bileşik halde bulunmaktadır (Anonim 2016a).

Kimyasal olarak çinko ve kalsiyuma benzerlik gösterir. Toksikolojik yönden problem yaratabileceği düşünülmeyen kadmiyum, sanayi sektöründeki kullanımının artması neticesinde kurşun ve cıva gibi ekotoksikolojik olarak önem kazanmıştır (Conti ve ark., 2003). Geniş bir yelpazede yayılım gösteren kadmiyum çevresel bir kirletici olup farklı organlardaki toksisitesi ile karakterize olan bir metaldir (Gunnarson ve ark., 2003). Endüstriyel kirlenme ile doğaya karıştıktan sonra çeşitli yollarla insan bünyesine giren kadmiyum çeşitli kanserler başta olmak üzere, boşaltım sistemi, sindirim sistemi hastalıklarına sebebiyet verebilmektedir (Benaduce ve ark., 2006). Sigara bağımlılarının kanında içmeyenlere nazaran 4-5 kat fazla, böbreklerinde ise 2-3 kat fazla kadmiyum birikebilmektedir (Mudgal ve ark., 2010).

1.2. Kurşun İle İlgili Genel Bilgiler

Çizelge 1.4. Kurşun metali ile ilgili genel bilgiler

Sembol	Pb
Atom numarası	82
Atom ağırlığı	207.2 g/mol
Element serisi	Metaller
Maddenin hali	Katı
Yoğunluk	11.34 g/cm ³
Sıvı haldeki yoğunluk	10.66 g/cm ³
Atom yarıçapı	180 pm
Kaynama noktası	1749 °C
Buharlaştırma ısısı	179.5 kJ/mol
Kristal yapısı	Yüzey merkezli kübik
Yükseltgenme seviyeleri	4+ , 2+
Görünüş	Mavimsi beyaz

Kurşun (Pb), atom numarası 82, atom kütlesi 207.19 g/mol, mavi-gümüş renge sahip bir elementtir. 327.5 °C de erir ve 1740 °C de kaynar. Doğada, kütle numaraları 208, 207, 206 ve 204 olmak üzere 4 izotopu vardır (Anonim 2016b).

Oksitlenme sonucu gümüş-mat renge sahip olan kurşun ilk işlendiğinde mavi-beyaz renge sahiptir ve yumuşak bir yapısı olup kolay dövülen yeraltı mineralidir (Doğru, 2007). Yapısal özelliklerinden dolayı akülerde, boyalarda, metal içerikli borularda, benzinde ve birçok sanayi ürününde katkı maddesi olarak bulunabilmektedir (Benaduce ve ark., 2008). Geniş kullanım alanına sahip olan kurşun, kullanımının artmasıyla doğaya verdiği zararı da kademeli olarak arttırmıştır. Dünya hükümetlerinin yasal çalışmaları neticesinde kurşun içerikli boyaların kullanımı sınırlandırılmış (Kime, 1998). Uzun yıllar kurşunun etkisi altında bulunmak davranışsal problemlere, felç ve ölüm gibi birçok sağlık sorununa sebep olmaktadır (Axtell ve ark., 2003).

1.3. Lemnaceae

Su mercimeğigiller (Lemnaceae); Landaltia, Lemna, Spiradela, Walffia, Walffiella, Walffiopsis olmak üzere 6 cins, 43 türden oluşmaktadır ve Alismatales takımına ait karmaşık bir familyada bulunmaktadırlar. Suya batık ya da suda yüzen, tatlı sularda

yaşayan çok yıllık küçük otsu bitkilerdir. Türkiye’de ise 2 cinsi (Lemna ve Spirodela) bulunmaktadır. Familya üyeleri yüksek protein içeriğinden dolayı, su canlıları açısından önemli besin kaynağı olarak görülmektedir.

Mineral nutrientleri absorblama ve hızlı büyümesinden dolayı biyoremediasyon çalışmalarında önemli bir yere sahiptir. Hayat devresi boyunca her bir yaprağı 10-20 defa çoğalır (Saygıdeğer, 1996).

1.4. *Lemna minör* (Linneaus 1753)

Kingdom: Plantae

Subkingdom : Tracheobionta

Division: Magnoliophyta Cronquist, Takht. &Zimmerm. ex Reveal

Class : Liliopsida Batsch

Subclass: Arecidae Takht.

Order : Arales Dumort.

Family: Lemnaceae Martynov

Species : *Lemnaminor* Linneaus

Lemna minör, Arales takımının Lemnaceae familyasına ait olup su üzerindeki yüzücü su bitkilerinden oluşmaktadır. Vejetatif bölünme ile çoğalan bu bitkiler dairesel yapraklıdırlar ve her yaprağında kökleri bulunur. Gövde yapıları küçük ve yapraksı yapıdan oluşan, suya yarı batık olarak veya su yüzeyinde serbest olarak bulunabilmektedirler. Yapraklar şeffaf bir sap ya da tek tek olabilmektedir. Genellikle yeşil renkli olup morumsu renkleri de mevcuttur. Çiçek, torba şeklinde bir hazne içerisinde bulunup bir dişi ve iki erkek çiçekten oluşmaktadır. Meyve torbacık şeklindedir ve bir tohum taşımaktadır. Kök uzunluğu 14 cm’ ye kadar ulaşabilmektedir. Çoğalma hızı oldukça yüksek olan bu bitkiler kloroplastlıdır ve fotosentez yapabilmektedirler. Yapraktaki küçük bir hücre bölünerek yeni bir yaprak üretebilmektedir (Saygıdeğer, 1996, Yılmaz, 2004, Akel, 2006, Yetik, 2008).

Su mercimekleri tomurcuklanma ile ürerler. Her yaprakçık fazla sayıda dişi tomurcuk üretebilmektedir. Cepte bulunan dişi tomurcuk diğer tomurcuklara nazaran daha çabuk gelişim gösterir. Dişi tomurcuklar annelerine bağlı yeni bireyler oluşturmaktadır. Tomurcuğun geç geliştiği kese minus olarak adlandırılır ve çiçeklenme olduğunda çiçek bu cepte kendisini gösterir (Saygıdeğer, 1996). Kış

aylarında tomurcukları suyun altında gelişen su mercimekleri, uygun sıcaklıklarda tekrar çoğalmaya başlarlar. Büyümesi ve gelişmesi durgun sularda olur. Buldukları bölgede hızlı üreyen ve baskın duruma geçen bir bitkidir (Akel, 2006).

Çizelge 1.5. Su mercimeklerinde en iyi gelişme şartları (Yılmaz, 2004)

Parametre	En iyi gelişim	Tolerans sınırı
Ph	4.5-7	3.5-8.5
Sıcaklık	20-30 °C	1-32 °C
Işık şiddeti	Sınırlayıcı değil	Geniş tolerans sınırı

Yüksek sıcaklık ve su bileşimindeki değişiklik çiçek ve meyve gelişimini teşvik etmektedir. Nitrat halindeki azot ve fosfat seviyelerinin düşük olması birey çoğalışını, yaprak yüzey alanını, klorofil miktarını ve solunumunu azaltabilmektedir. Ötrofikasyona görülen alanlarda çok iyi gelişim gösterebilmektedir ve bu özelliğinden dolayı biyolojik indikatördür (Saygıdeğer, 1996).

Su mercimeklerinin ülkemizde yayılış alanı geniştir. Ülkemizin çoğu coğrafi bölgesinde; göllerde, havuzlarda, bataklıklarda, kanallarda bulunmaktadır (Üçüncü, 2011).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yeryüzünde gerçekleştirilen bilimsel çalışmalarda *L. minor* kullanılarak ağır metallerin etkileri incelenmiş olup bunlardan bir kısmı şu şekilde özetlenmiştir.

Polygonum amphibium, *Lemna minor*, *Eichhornia crassipes*, *Oenathe javanica* ve *Lepironia articulata* olmak üzere 4 tür üzerinde N, P ve 3 ağır metalin (Cd, Hg, Pb) etkilerini araştıran Wang ve ark., (2002), yapmış oldukları çalışma sonucunda; *Polygonum amphibium*' un L, N ve P için, *Lemna minor*, *Eichhornia crassipes*'in Cd için ve *Oenathe javanica*'nin ise Pb için iyi bir akümülatör olduğunu tespit etmişlerdir.

Ağır metallerin eş zamanlı temizlenmesinde sucul makrofitlerin potansiyelini araştıran Miretzky ve ark., (2004), suda yüzer durumda bulunan 3 otokton tür (*Pista stratiotes*, *Spirodela intermedia* ve *Lemna minor*) kullanmışlardır. Bu türler 15 gün süresince çok sayıda farklı konsantrasyonlarda ağır metale (Fe, Cu, Zn, Mn, Cr ve Pb) maruz bırakılmıştır. Yapılan çalışmada su ve makrofit metal konsantrasyonu arasında yüksek bir ilişki görülmüştür.

Lemna minor üzerinde ağır metal karışımlarının toksisite değerlendirmesini yapan Horvat ve ark., (2007), çalışmada, metallerin bitkiler üzerindeki ve sudaki karışımlarının toksik etkileşimlerini açıklamanın güç olması nedeniyle karışım ile ilgili çalışmaların literatürde oldukça sınırlı olduğunu ifade etmişlerdir. Yapılan çalışmada, metal karışımlarının biyoindikatör tür olan *Lemna minor* üzerindeki toksik etkilerinin ölçümü anlatılmıştır.

Ağır metallerce kirletilmiş su kütlesi üzerinde Cu ve Cd' nin etkisinin belirlenmesi ve *Lemna minor* kullanılarak suyun iyileştirilmesine yönelik bir çalışma yapan Hou ve ark., (2007) çalışmada, bakır sülfat ve kadmiyum diklorid kullanmış olup; Lemna yapraklarını, Steinberg mediumuna göre belirlenmiş konsantrasyonlara (0, 0.05, 0.5, 5, 10, 20 mg/l) maruz bırakmışlardır. Çalışma sonucunda; Cu ve Cd' nin çözünebilir proteinler, fotosentetik pigmentler, antioksidant enzimler ve MDA üzerine etkisi belirlenmiştir. 4 günlük uygulama neticesinde, 0,05 mg/l Cu⁺²' ye maruz kalan *Lemna*' nın çözünebilir protein içeriğinde önemsiz bir düşüş olurken, 0,05 mg/l Cd varlığında hızlı ve güçlü bir inhibisyon görülmüştür. *Lemna minor* kullanarak sulu kurşunun uzaklaştırılmasını gözlemleyen Hurd ve Stenberg, (2008), yaptıkları

çalışmada *Lemna minor*' u 7 gün boyunca 0.0, 5.0, 10.0 mg/l Pb' a maruz bırakmışlardır.

Ağır metal kirliliğinde *Lemna minor*' un büyüme tepkilerini çalışan Khellaf ve Zerdaoui, (2009), EC50 değerleri için; Cu: 0,47 mg/l Ni: 1,29 mg/l Cd: 0,64 mg/l Zn: 5,64 mg/l sonuçlarını bulmuşlardır. 24 saat sonrasında 0,5 mg/l Cu' ın yapraklar üzerinde solma ve parçalanma etkisi gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

Lemna minor' un çözünür Pb' nin farklı laboratuvar koşullarında kaldırılma yeteneğinin incelenmesi için çalışma yapan Uysal ve Taner, (2009), *Lemna minor*' u farklı pH değerlerine ve sıcaklığa maruz bırakmışlardır. 168 saat boyunca kuru ağırlık bazında elde edilen biyomasın miktarı, Pb ortamındaki ve dokularındaki miktarı *Lemna minor* tarafından tutulan net miktarı her koşulda çalışma periyodu boyunca ölçülmüştür.

Bakır nitrat, kurşun nitrat, krom (III) oksit karışımlarının, 7 günlük süreçte *Lemna minor* kullanılarak biyoremediasyonu ve bu metallerin *Lemna minor* üzerine etkilerini araştıran Üçüncü, (2011), kurşunun, bakır ve kroma göre *Lemna minor* üzerinde daha toksik olduğunu belirtmiştir. Metallerin toksik etkilerine göre sıralanışını ise Pb>Cu>Cr (III) olarak göstermiştir.

Lemna minor bitkisinin arsenik giderim verimliliğini araştıran Şişek, (2012), laboratuvar ortamında yetiştirilen *Lemna minor* bitkisine farklı üç farklı dozda arsenik trioksit (As_2O_3) ağır metali uygulamıştır. 20 günlük süre sonunda suda ve bitkide bulunan As_2O_3 değerleri ölçülmüştür. Sudaki arsenik konsantrasyonlarının 300 µg/L, 200 µg/L, 100 µg/L' den sırasıyla 151 µg/L, 105,5 µg/L, 45,5 µg/L' e azaldığı belirtilmiştir. Buna göre en iyi arsenik giderim verimliliğini 300 µg/L konsantrasyon içeren tanklarda gözlemlemiştir.

Lemna minor bitkisinin atık sulardan besin maddesi, karbon ve ağır metal giderim kapasitesini araştıran Balcıgil (2013), laboratuvar koşullarında çoğaltılan *Lemna minor* bitkisinin KOİ, NH₃-N, NO₃-N, PO₄-P, Cu, Pb ve Zn içeriklerini farklı atıksulardaki giderim verimliliğini çalışmıştır. Sentetik ve evsel atık su ile gerçekleştirilen çalışmalarda %54-74 oranında KOİ, %86-90 oranında NH₃-N, %78-94 oranında NO₃-N, %53-94 oranında PO₄-P, %65-79 Cu, %76-84 Pb ve %80-83 Zn giderimi tespit edilmiştir.

Silva ve ark., (2014), yapmış oldukları çalışmada Cd' nin, balıkların ozmoregulasyonu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. İyon transferleri ile ilgili enzimler arasında H⁺-ATPase solungaçlardaki aktiviteleri arttıran tek enzim olduğu görülse de, böbrekteki aktivitelerin değişmeden kaldığı görülmüştür. Çalışmanın sonunda gözlenen durum; tatlisulardaki maksimum konsantrasyonda suda çözülmüş halde bulunan Cd, *P. lineatus*' un solungaç ve böbreklerini etkilemektedir.

Lemna minor' un doğal ortamlarda, doğal ve farklı metal oranlarına sahip, yüksek miktarda metal içeren su sistemlerinden alınan su örneklerinde, metal uzaklaştırma başarısını çalışan Tunca, (2014); biyoremediasyon çalışmasını, Yeniçağa Gölü ve Nilüfer Çayı'ndan alınan farklı metal seviyelerine sahip su örneklerinde gerçekleştirip, test sularına dış ortamdan metal uygulamayarak alınan su örneklerinde mevcut olan metal miktarlarını saptayarak bu metallerin giderilmesini sağlamıştır. Pb, 66Zn, 68Zn, Al ve Fe' nin diğer metallere göre daha iyi uzaklaştırılma oranlarına sahip olduğu belirlenen çalışmada, uzaklaştırılan ya da uzaklaştırılmayan ağır metaller arasında korelasyon olup olmadığı incelenerek ve çok güçlü korelasyonların olduğu tespit edilmiştir.

Ghiani ve ark., (2014) yapmış oldukları çalışmada As ve Cd' un beyaz yonca üzerindeki toksik ve genotoksik etkileri birleştiren, kirliliğe karşı hassas bir çevresel biyoindikatör olarak kullanımını incelemişlerdir. Toprakta eş zamanlı olarak bulunan As ve Cd' un, *Trifolium repens* bitkisinin büyümesi üzerinde düşük bir DNA hasarına yol açtığını tespit etmişlerdir.

Lemna gibba ve *Lemna minor*' un maden sularında ki ağır metallerin giderimini araştıran Doğan, (2015), Guleman krom yatağından gelen ağır metallerin bulunduğu göl alanı içerisinde 8 gün ekim yaparak düzenli hasat edilen bitkileri laboratuvar ortamına taşımıştır. Laboratuvarda yıkanıp kurutulduktan sonra Acme Analiz Laboratuvarı' nda (Kanada) Cr, Ni ve Co için ICP-MS' de analiz gerçekleştirmiştir. Analiz verilerine göre; Cr için *L. minor* 8. günde %398, *L.gibba*' da ise 8. günde % 196; Ni için *L.minor* 8. günde %1473, *L. gibba*' da ise 8. günde %307; Co için *L. minor* 8. günde %223, *L. gibba*' da ise 8. günde %166 gibi akümülyasyonlar gözlemlenmiştir.

3. MATARYEL ve YÖNTEM

Bu çalışma, Ordu Üniversitesi Fatsa Deniz Bilimleri Fakültesi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

3.1. Kültür Şartları

Ankara Üniversitesi bünyesindeki seralardan temin edilen *Lemna minor*, doğal ortamdan getirilen midyumda kültüre alınmıştır. Doğal ortamdan getirilen midyum, daha önce yapılan çalışmalarda bitkilerin sağlıklı büyüme göstermesinden dolayı Gaga Gölü'nden temin edilmiştir. *Lemna minor* kültür şartları, OECD prosedürlerine uygun olarak hazırlanmıştır (Anonim, 2016c). Çalışmada 3 yapraklı olan bitkiler seçilerek, her bir test grubunda 5 bitki kullanılmıştır.

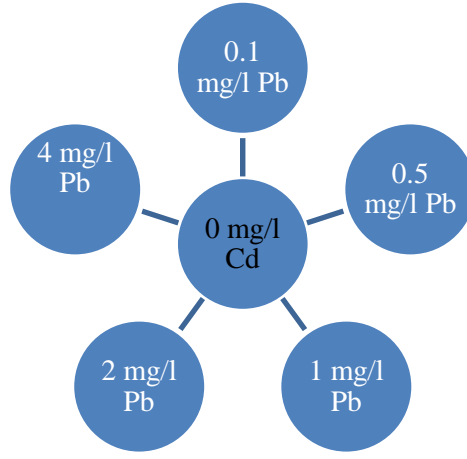
3.2. Kullanılan Ekipmanlar

Çalışmada kullanılacak ekipmanların, tepkimeye girmeyen kimyasal materyalden veya camdan olmasına özen gösterilmiştir.

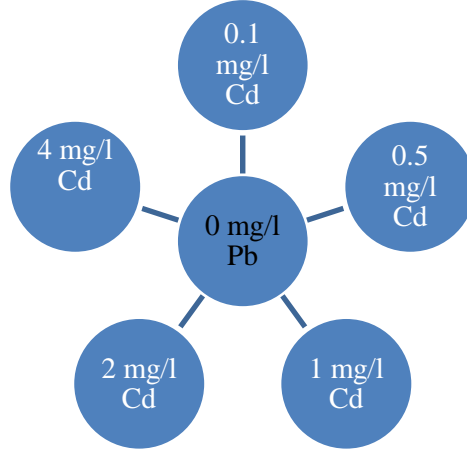
3.3 Deney Yöntemi

Deney 3 tekrarlı olacak şekilde kontrol grubu hariç 5 farklı doz için kurulmuştur. Toksin ajan olarak kurşun nitrat $Pb(NO_3)_2$ ve kadmiyum klorid $CdCl_2.H_2O$ kullanılmıştır. %62.56' sı Pb olan $Pb(NO_3)_2$ bileşiğinden 1.60 gr alarak 1 lt saf suda çözülmüş ve 1 gr/l'lik Pb stok solüsyonu hazırlanmıştır. Aynı şekilde %55.83' ü Cd olan $CdCl_2.H_2O$ bileşiğinden 1.79 gr alınarak 1 lt saf suda çözüldü ve 1 gr/l' lik Cd stok solüsyonu hazırlanmıştır.

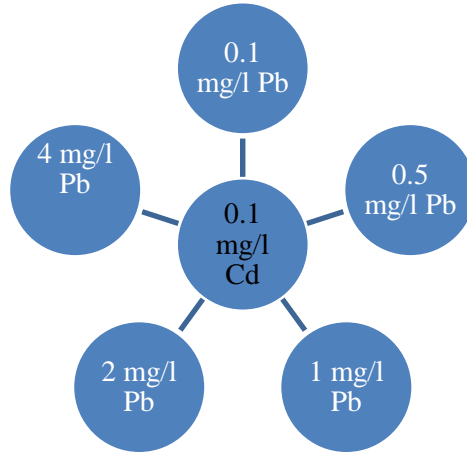
Deney süresince bitkiler 0.1, 0.5, 1, 2, 4 mg L⁻¹Cd ve Pb konsantrasyonuna ayrı ayrı maruz bırakılmıştır. Ayrıca bu metal ve dozların kendi aralarındaki tüm kombinasyonları da antagonistik ve sinerjistik etkiyi gözlemek için çalışılmıştır. Uygulanan kombinasyonlar aşağıda gösterilmiştir.



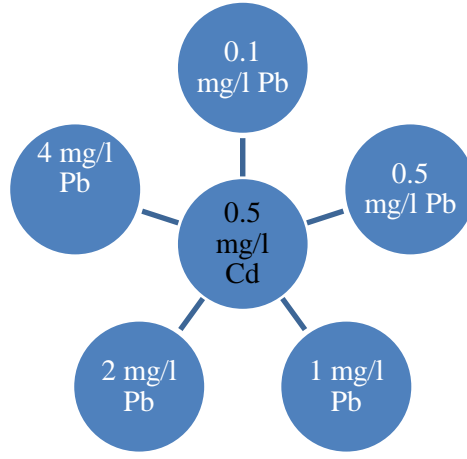
Şekil 3.1. 0 mg/l Cd için verilen farklı Pb dozları



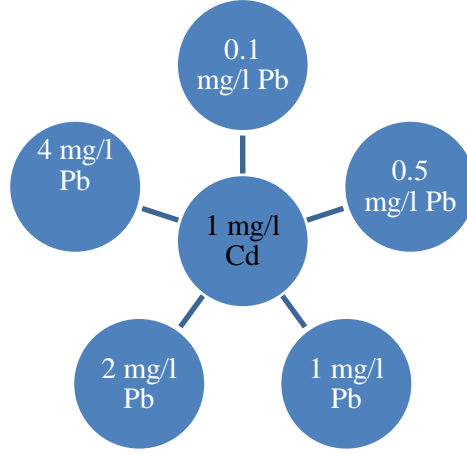
Şekil 3.2. 0 mg/l Pb için verilen farklı Cd dozları



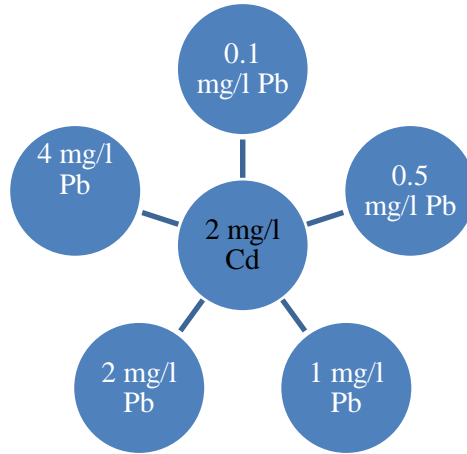
Şekil 3.3. 0.1 mg/l Cd için verilen farklı Pb dozları



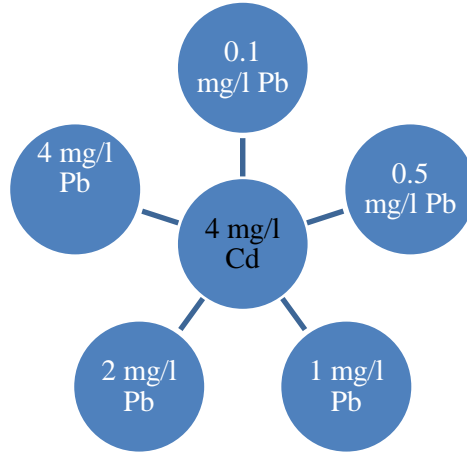
Şekil 3.4. 0.4 mg/l Cd için verilen farklı Pb dozları



Şekil 3.5. 1 mg/l Cd için verilen farklı Pb dozları



Şekil 3.6. 2 mg/l Cd için verilen farklı Pb dozları



Şekil 3.7. 4 mg/l Cd için verilen farklı Pb dozları

Çalışmada 105 grup test ve 3 kontrol grubu incelenmiştir. 7 gün devam eden çalışmada, her 24 saatte bir yaprak sayıları 0.25, 0.50, 0.75 ve 1 tam yaprak olacak şekilde sayılarak not edilmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında antagonistik ve sinerjistik etkilerin tespitinde Mann Whitney-U analizinden yararlanılmıştır. Analiz veri sayısının yoğun olmaması sebebiyle normal dağılıma bakılmaksızın uygulanmıştır. Tüm sonuçlar %95' lik ($p < 0.05$) anlamlılık seviyesindedir. Testler SPSS v 21 (IBM USA) ile gerçekleştirilmiştir.

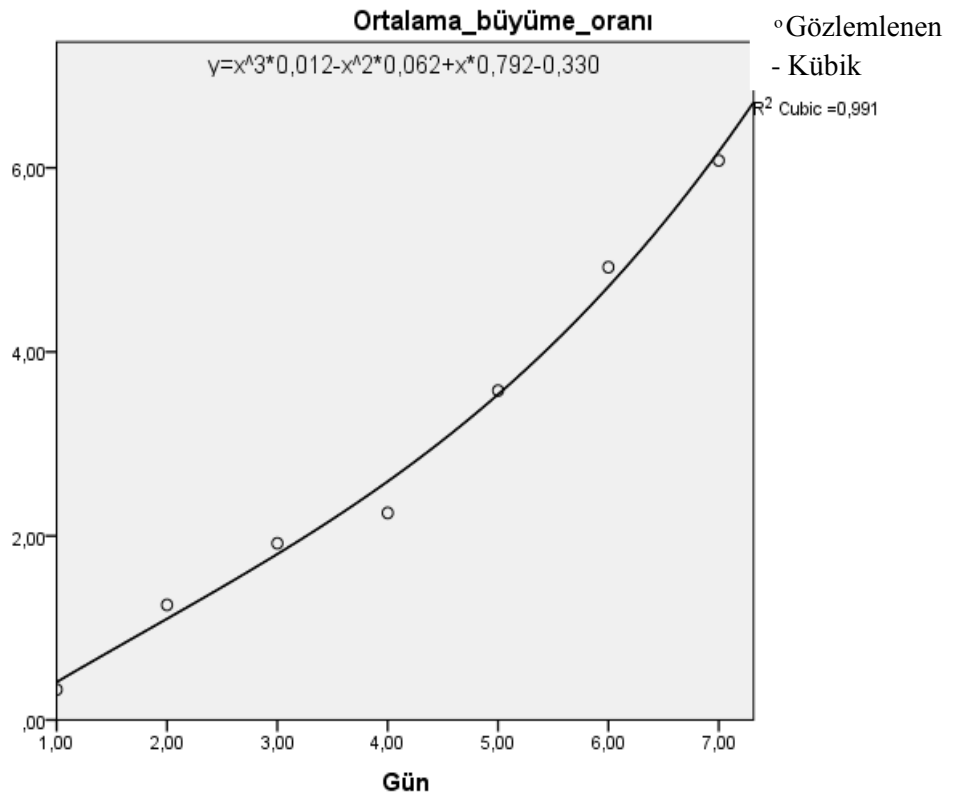
4. BULGULAR

Doğada, ağır metaller tarafından kirlenen ortamlarda birden fazla ağır metalin bulunabileceği yapılan pek çok çalışmada görülmüştür (Üçüncü, 2011). Bu durum doğadaki canlıların tek bir metale değil de aynı anda birden fazla metale maruz kaldığı anlamına gelmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmanın amacı birden fazla metalin laboratuvar koşullarında *Lemna minor* üzerindeki toksik etkisini simüle etmektir.

0.1, 0.5, 1, 2, 4 mg L⁻¹ Cd ve Pb konsantrasyonuna maruz bırakılan bitkilerde, 24 saatlik periyotlar sonucunda gözlenen büyüme miktarları aşağıdaki tablolarda (Çizelge 4.1) ve modellerde (Şekil 4.36) verilmiştir.

Çizelge 4.1. Cd 0.1 mg/l için yaprak sayıları

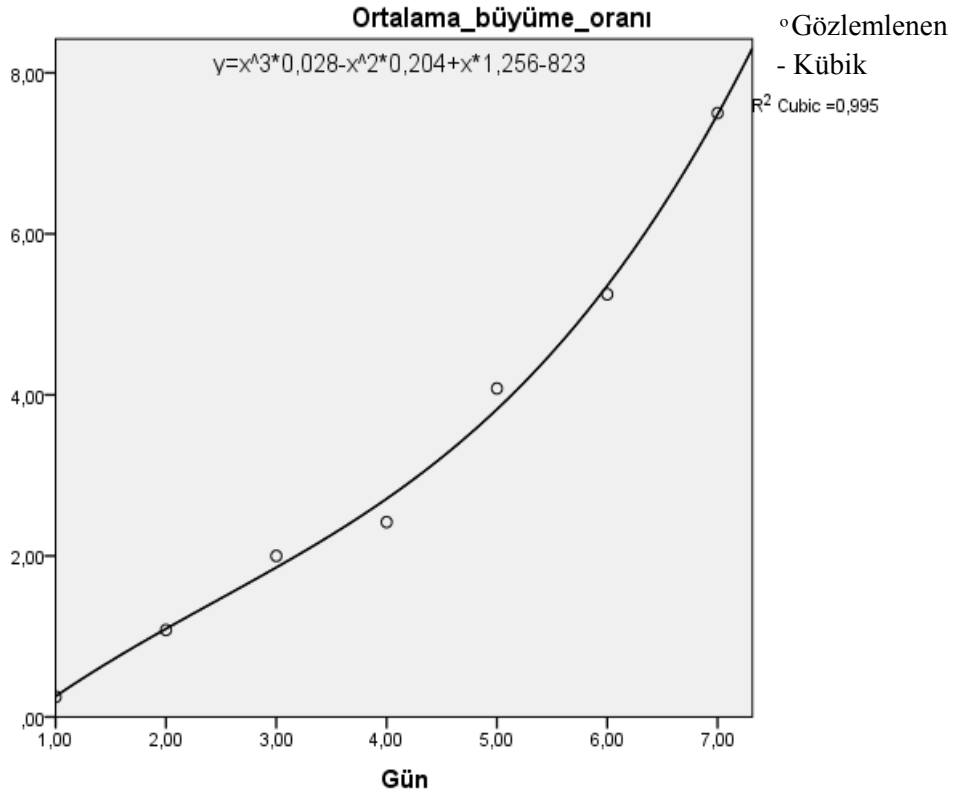
Cd 0.1 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0.5	0.25	0.25
2. Gün	1.75	1	1
3. Gün	2.75	1.25	1.75
4. Gün	3.5	1.5	1.75
5. Gün	4.5	3.25	3
6. Gün	7.25	3.25	4.25
7. Gün	7.25	5.25	5.75



Şekil 4.1. *Lemna minor* bitkisinde Cd 0.1 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.2. Cd 0.5 mg/l için yaprak sayıları

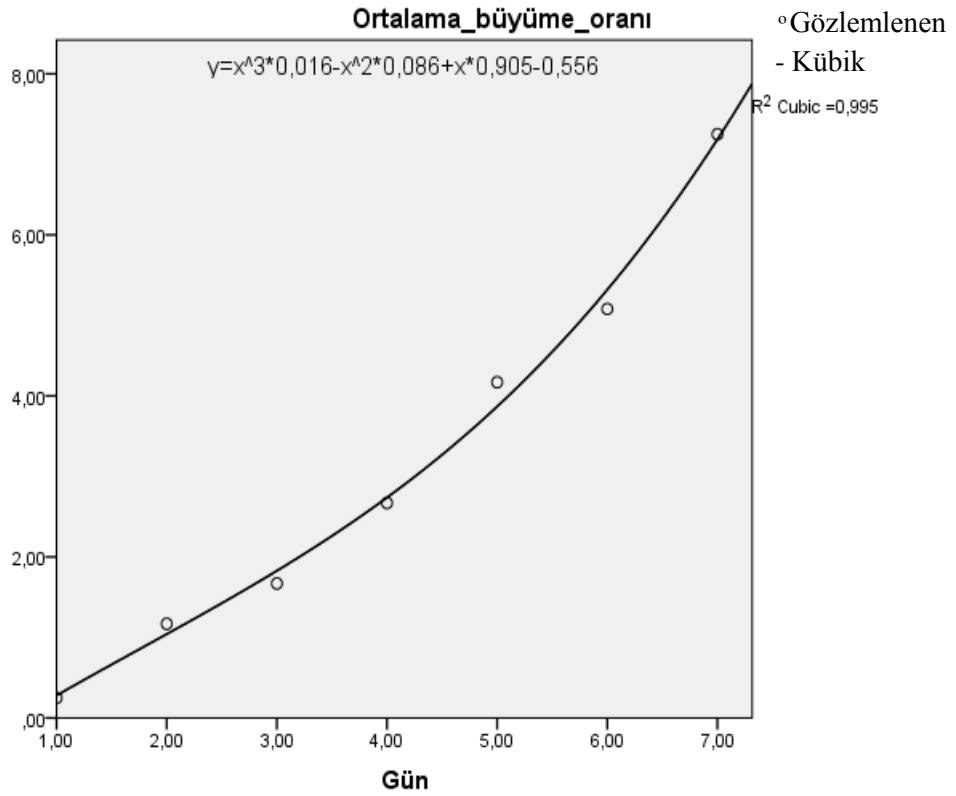
Cd 0.5 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0.25	0.25	0.25
2. Gün	1	1	1.25
3. Gün	1	2.25	2.75
4. Gün	1.75	2.25	3.25
5. Gün	3.25	4	5
6. Gün	4.25	5.25	6.25
7. Gün	6.5	7.25	8.75



Şekil 4.2. *Lemna minor* bitkisinde Cd 0.5 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.3. Cd 1 mg/l için yaprak sayıları

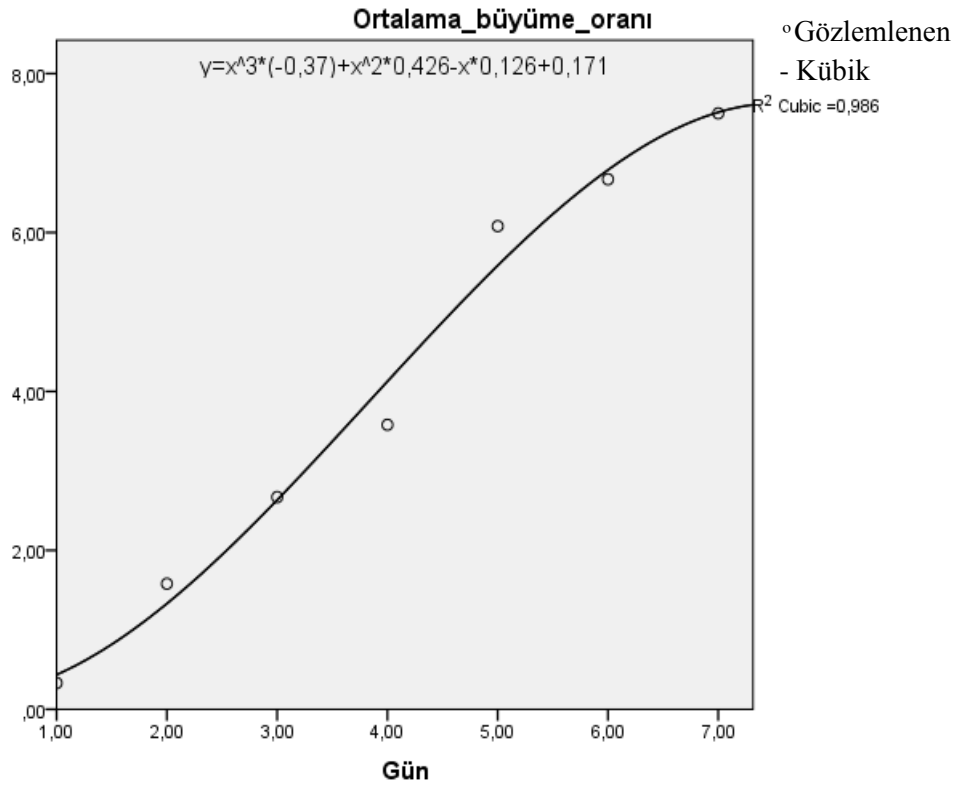
Cd 1 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0.5	0	0.25
2. Gün	1.25	1	1.25
3. Gün	2.25	1.25	1.5
4. Gün	3	3	2
5. Gün	5	4.5	3
6. Gün	6.25	5.25	3.75
7. Gün	7.75	7.25	6.75



Şekil 4.3. *Lemna minor* bitkisinde Cd 1 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.4. Cd 2 mg/l için yaprak sayıları

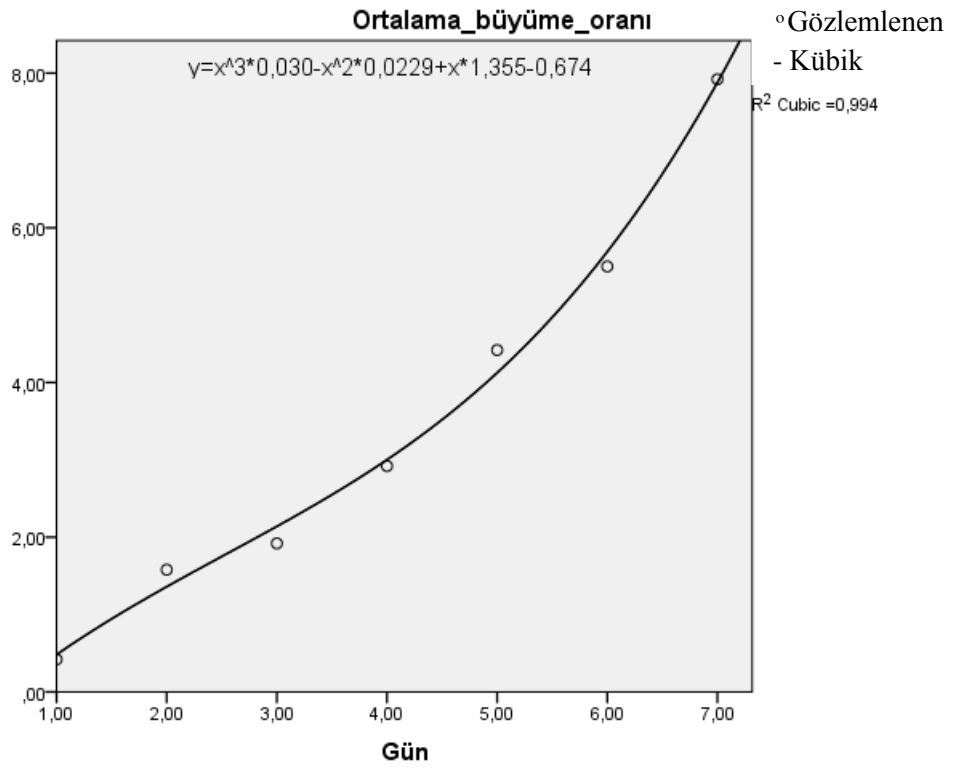
Cd 2 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0	0.25	0.75
2. Gün	1.25	1.25	2.25
3. Gün	2	2.75	3.25
4. Gün	3.25	3.75	3.75
5. Gün	5	6.25	7
6. Gün	6.5	6.5	7
7. Gün	7.5	7.5	7.5



Şekil 4.4. *Lemna minor* bitkisinde Cd 2 mg/l değerinde regrasyon grafiği

Çizelge 4.5. Cd 4 mg/l için yaprak sayıları

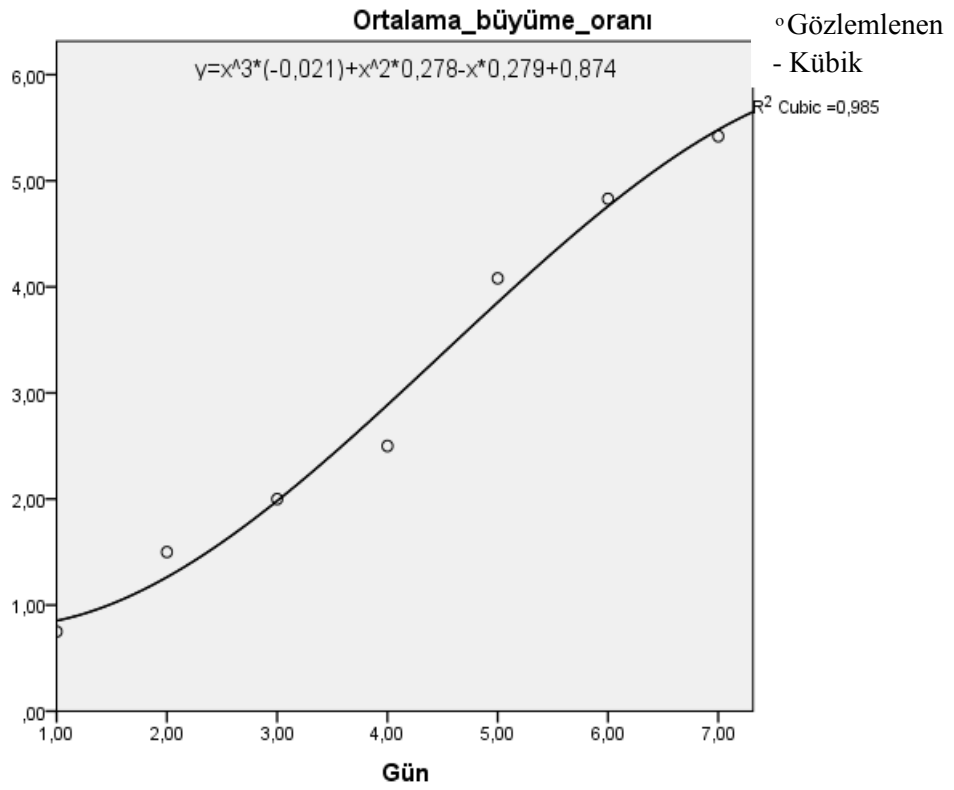
Cd 4 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0.5	0.5	0.25
2. Gün	1.75	1.5	1.5
3. Gün	1.75	2.25	1.75
4. Gün	2.75	3.25	2.75
5. Gün	5	4.25	4
6. Gün	6	5	5.5
7. Gün	8.25	7.75	7.75



Şekil 4.5. *Lemna minor* bitkisinde Cd 4 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.6. Pb 0.1 mg/l için yaprak sayıları

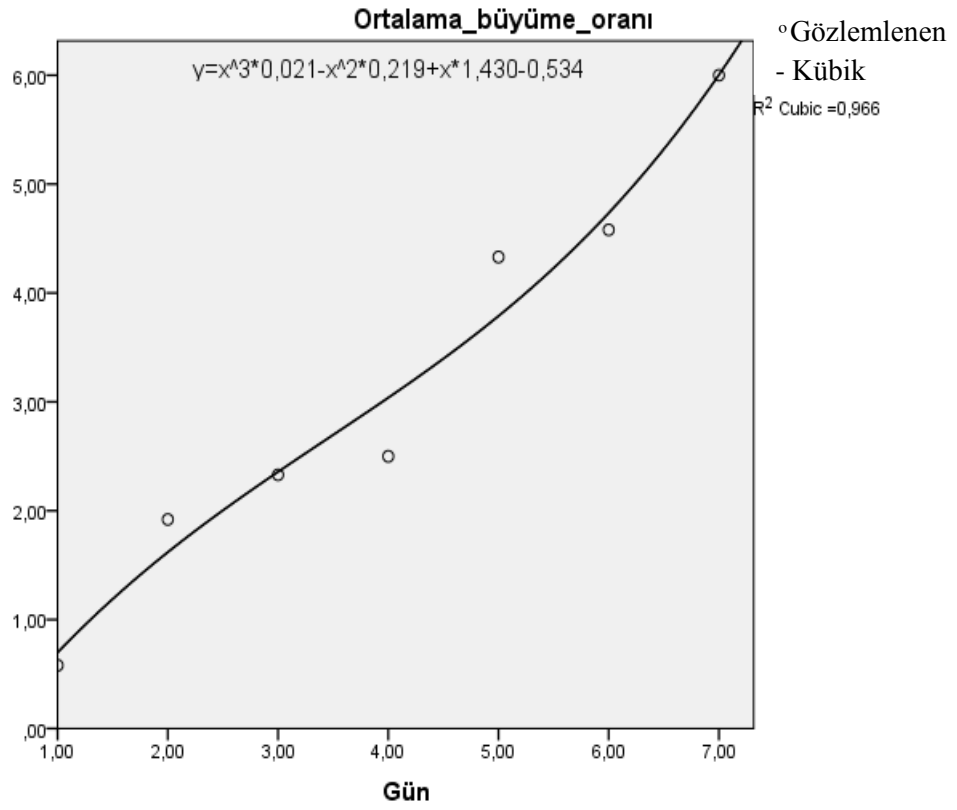
Pb 0.1 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	1.25	0.5	0.5
2. Gün	2	1.5	1
3. Gün	3	1.75	1.25
4. Gün	3.25	2.5	1.75
5. Gün	4.5	4	3.75
6. Gün	5.25	4.5	4.75
7. Gün	6.5	5	4.75



Şekil 4.6. *Lemna minor* bitkisinde Pb 0.1 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.7. Pb 0.5 mg/l için yaprak sayıları

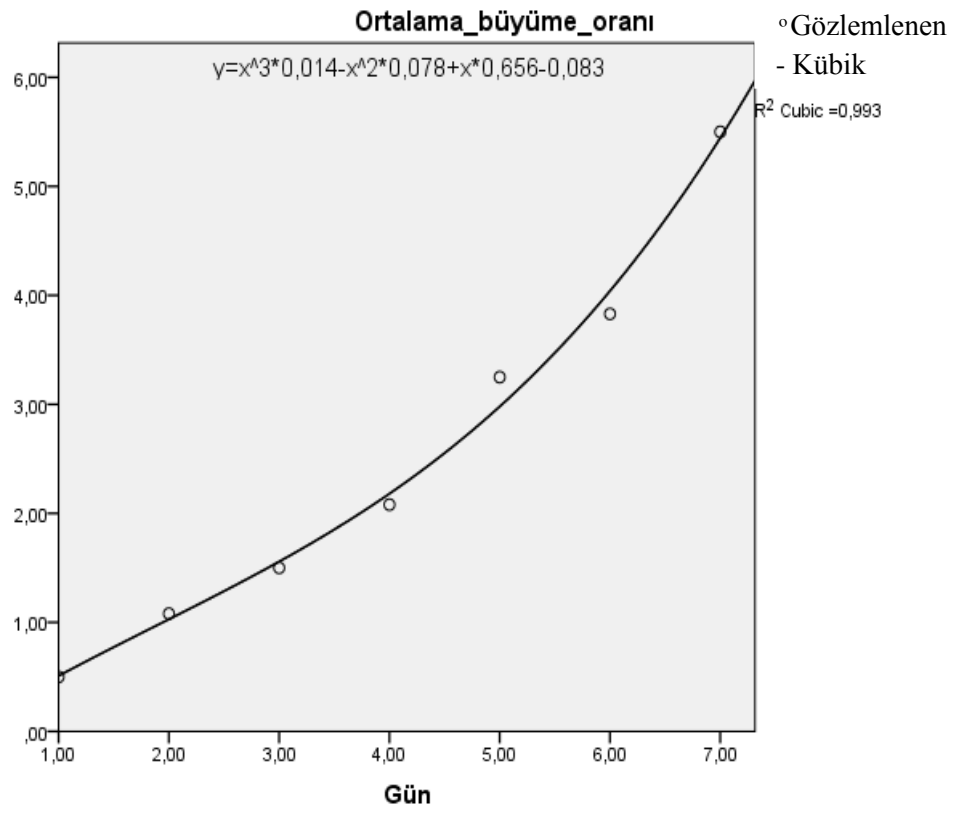
Pb 0.5 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	1.25	0	0.5
2. Gün	2.75	1.25	1.75
3. Gün	3.5	1.25	2.25
4. Gün	3.25	1.5	2.75
5. Gün	5.25	3.25	4.5
6. Gün	5.25	4	4.5
7. Gün	7.75	4.25	6



Şekil 4.7. Lemna minor bitkisinde Pb 0.5 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.8. Pb 1 mg/l için yaprak sayıları

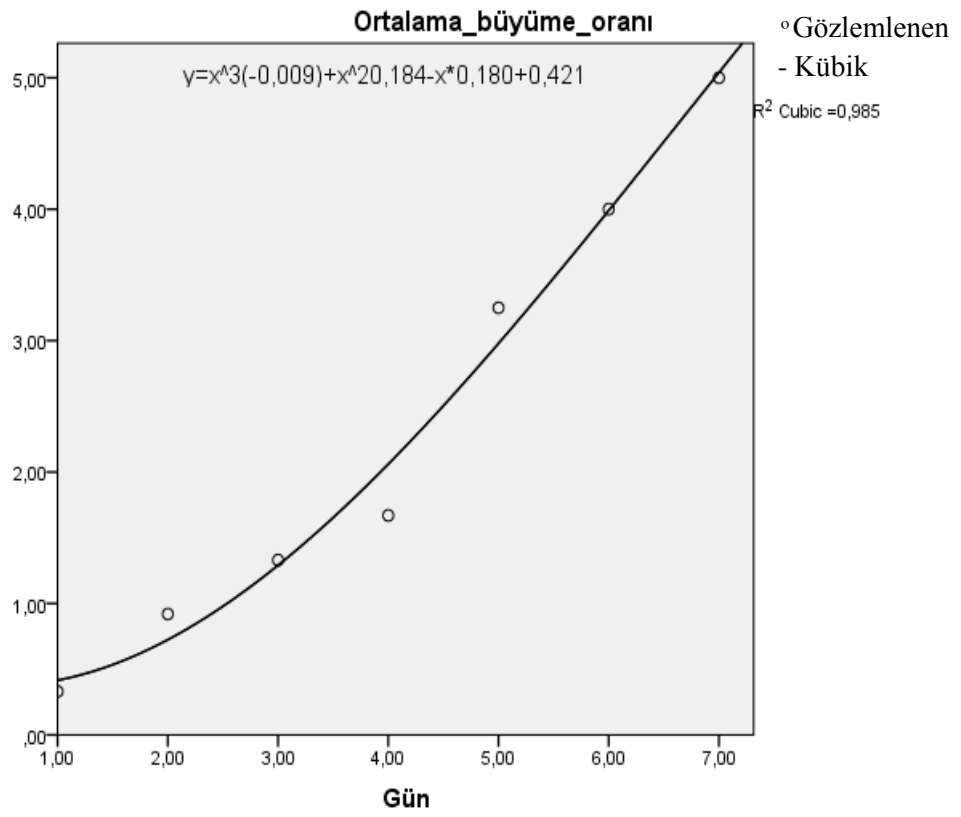
Pb 1 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0.5	0.75	0.25
2. Gün	1.25	1.75	0.25
3. Gün	1.5	2	1
4. Gün	2.25	2	2
5. Gün	4.25	3.25	2.25
6. Gün	4.75	3.75	3
7. Gün	7.25	5.25	4



Şekil 4.8. *Lemna minor* bitkisinde Pb 1 mg/l değerinde regrasyon grafiği

Çizelge 4.9. Pb 2 mg/l için yaprak sayıları

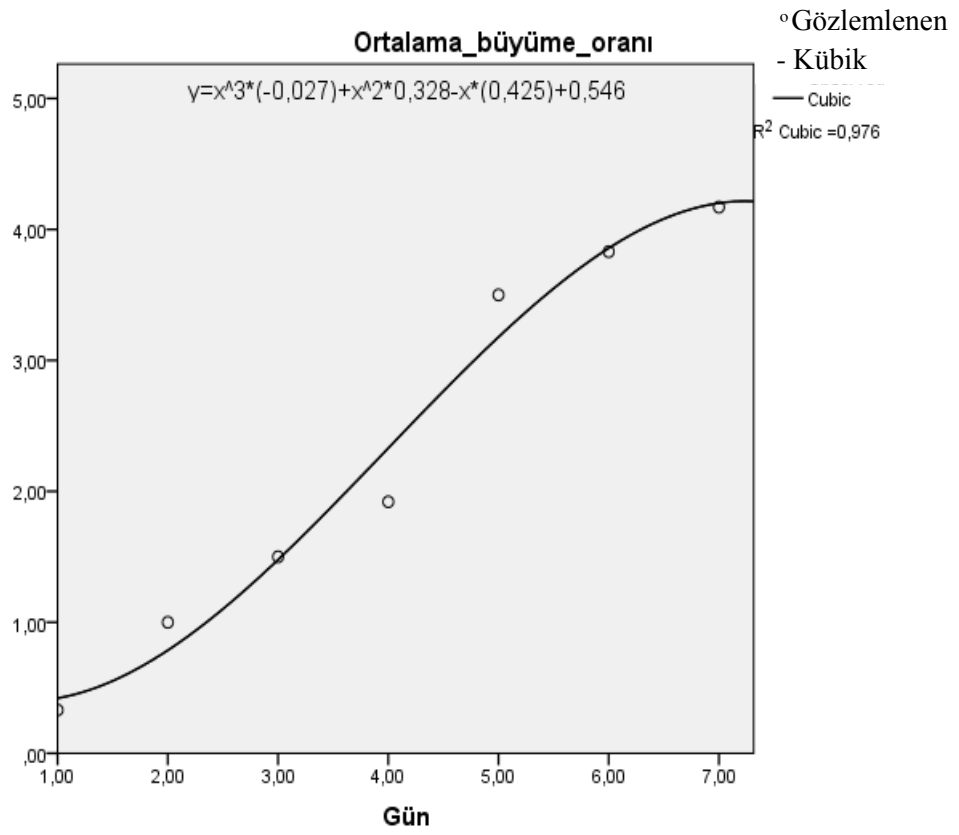
Pb 2 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0.25	0.25	0.5
2. Gün	1	0.75	1
3. Gün	1	1	2
4. Gün	1.5	1.25	2.25
5. Gün	2.75	3	4
6. Gün	3.5	3.5	5
7. Gün	4.25	4.75	6



Şekil 4.9. *Lemna minor* bitkisinde Pb 2 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.10. Pb 4 mg/l için yaprak sayıları

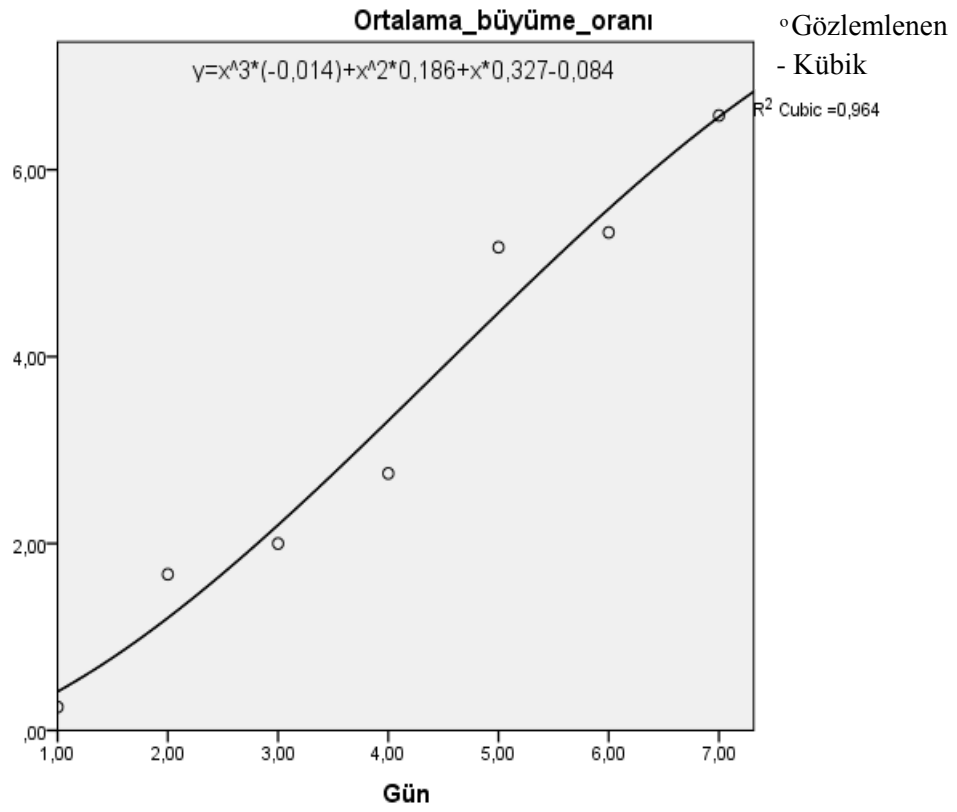
Pb 4 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0.25	0.25	0.5
2. Gün	0.25	2	0.75
3. Gün	0.75	2.25	1.5
4. Gün	1.25	2.25	2.25
5. Gün	2.5	3.75	4.25
6. Gün	3.75	3.75	4
7. Gün	4.25	3.75	4.5



Şekil 4.10. *Lemna minor* bitkisinde Pb 4 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.11. Cd 0.1 mg/l Pb 4 mg/l için yaprak sayıları

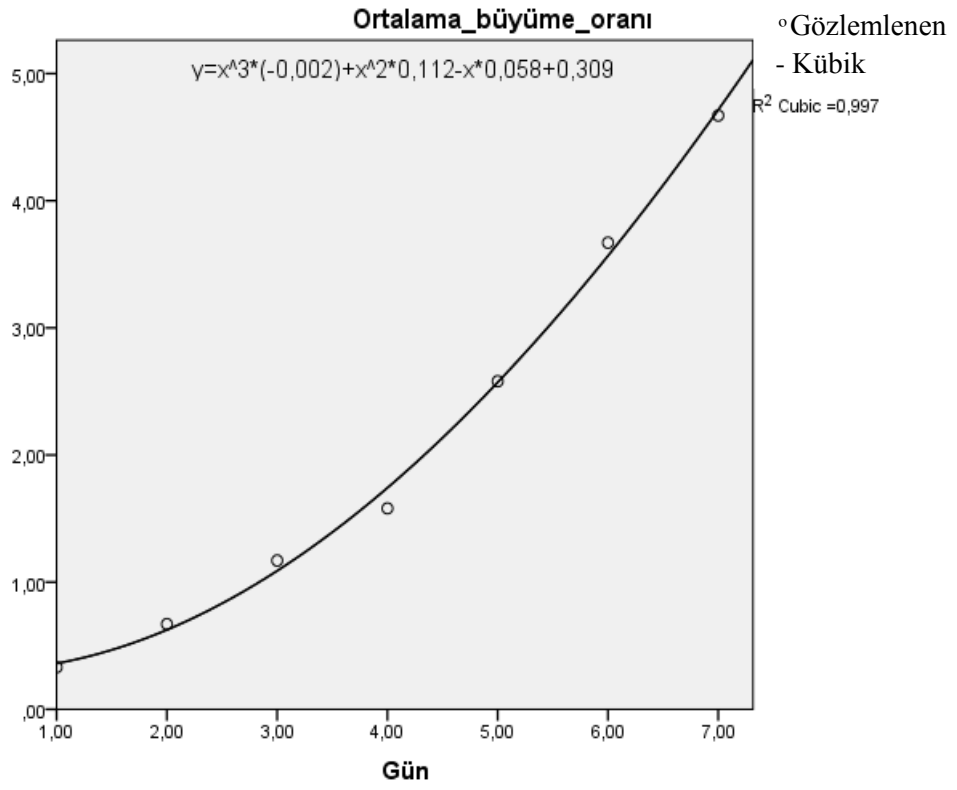
Cd 0.1 mg/l Pb 4 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0.25	0	0.5
2. Gün	1.75	2	1.25
3. Gün	2.25	2.25	1.5
4. Gün	2.75	3.5	2
5. Gün	5	6	4.5
6. Gün	5.5	6	4.5
7. Gün	7	7	5.75



Şekil 4.11. *Lemna minor* bitkisinde Cd 0.1 mg/l Pb 4 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.12. Cd 0.1 mg/l Pb 2 mg/l için yaprak sayıları

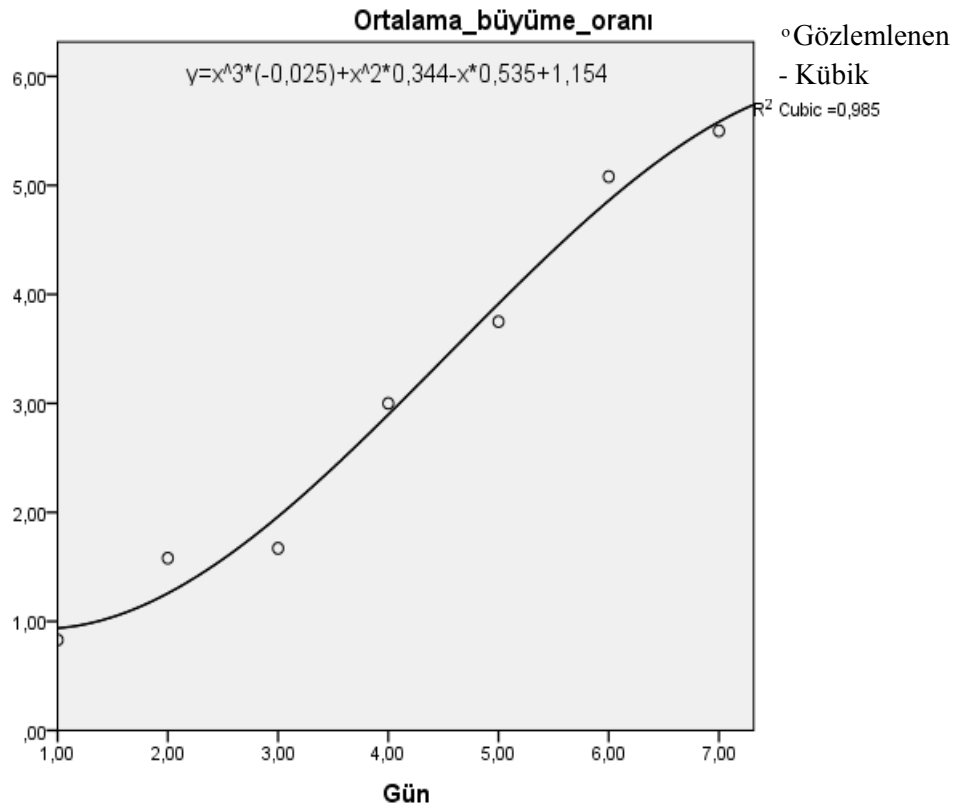
Cd 0.1 mg/l Pb 2 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0.75	0	0.25
2. Gün	1.5	0.25	0.25
3. Gün	2	0.75	0.75
4. Gün	2.25	1.5	1
5. Gün	2.75	3.75	1.25
6. Gün	4.5	4	2.5
7. Gün	5	5	4



Şekil 4.12. *Lemna minor* bitkisinde Cd 0.1 mg/l Pb 2 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.13. Cd 0.1 mg/l Pb 1 mg/l için yaprak sayıları

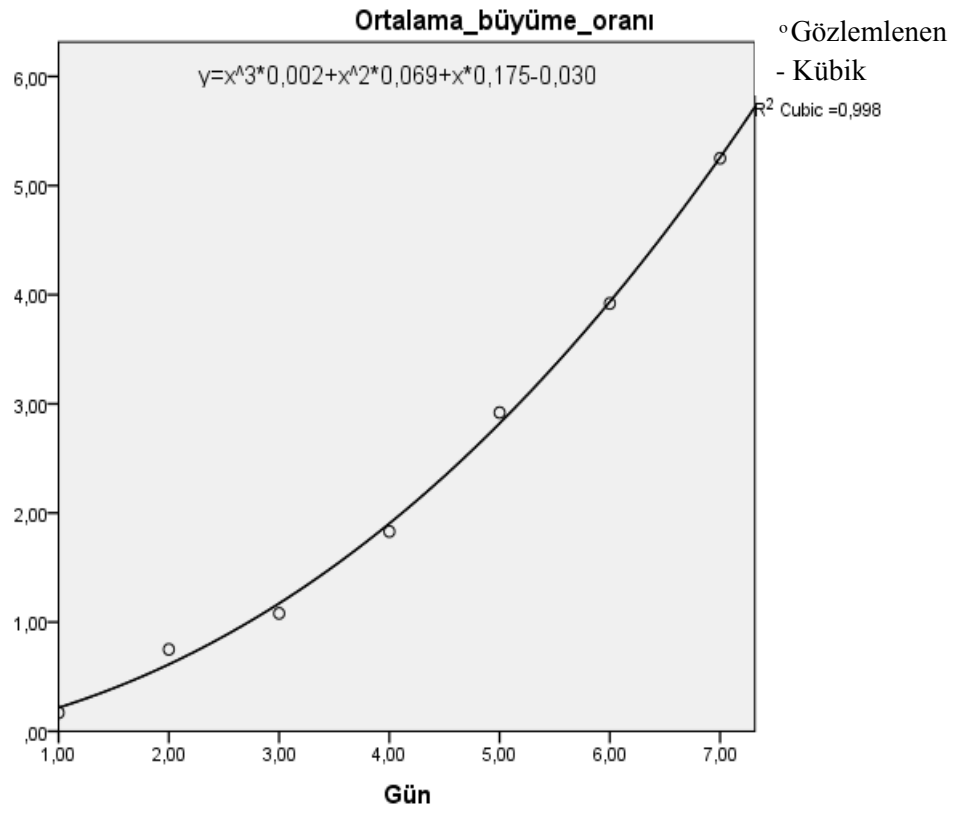
Cd 0.1 mg/l Pb 1 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0.75	1	0.75
2. Gün	1.25	2	1.5
3. Gün	1.5	2	1.5
4. Gün	2.25	3.5	3.25
5. Gün	2.75	5	3.5
6. Gün	3.74	6	5.5
7. Gün	4.75	6	5.75



Şekil 4.13. *Lemna minor* bitkisinde Cd 0.1 mg/l Pb 1 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.14. Cd 0.1 mg/l Pb 0.5 mg/l için yaprak sayıları

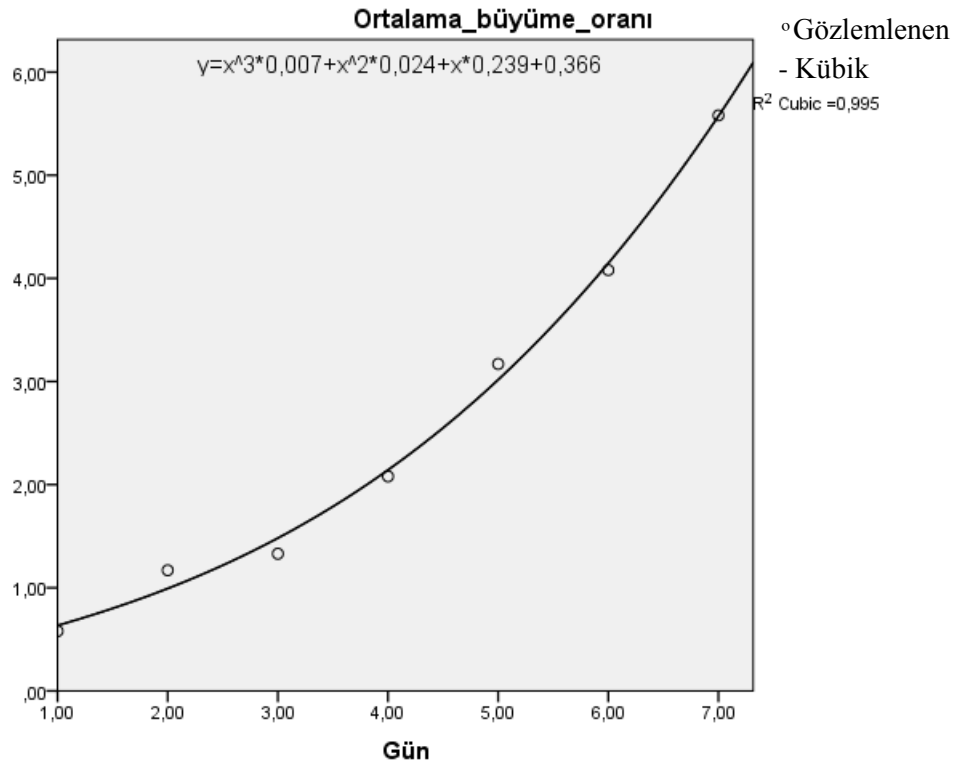
Cd 0.1 mg/l Pb 0.5 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0	0.25	0.25
2. Gün	0.75	1	0.5
3. Gün	0.75	1.25	1.25
4. Gün	1.25	2.25	2
5. Gün	2.5	3.25	3
6. Gün	3.5	4.25	4
7. Gün	5	4.75	6



Şekil 4.14. *Lemna minor* bitkisinde Cd 0.1 mg/l Pb 0.5 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.15. Cd 0.1 mg/l Pb 0.1 mg/l için yaprak sayıları

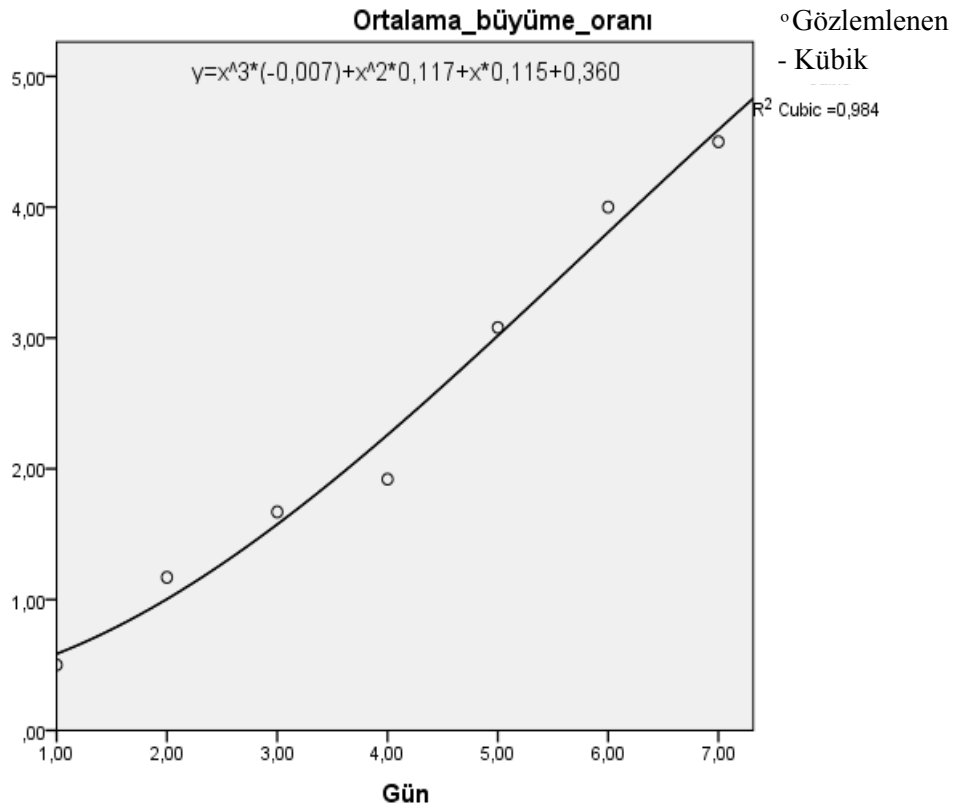
Cd 0.1 mg/l Pb 0.1 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0.5	0.75	0.5
2. Gün	0.75	1.5	1.25
3. Gün	0.75	1.75	1.5
4. Gün	1.5	3	1.75
5. Gün	1.75	3.75	4
6. Gün	2.5	4.5	5.25
7. Gün	4.25	6.5	6



Şekil 4.15. *Lemna minor* bitkisinde Cd 0.1 mg/l Pb 0.1 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.16. Cd 0.5 mg/l Pb 4 mg/l için yaprak sayıları

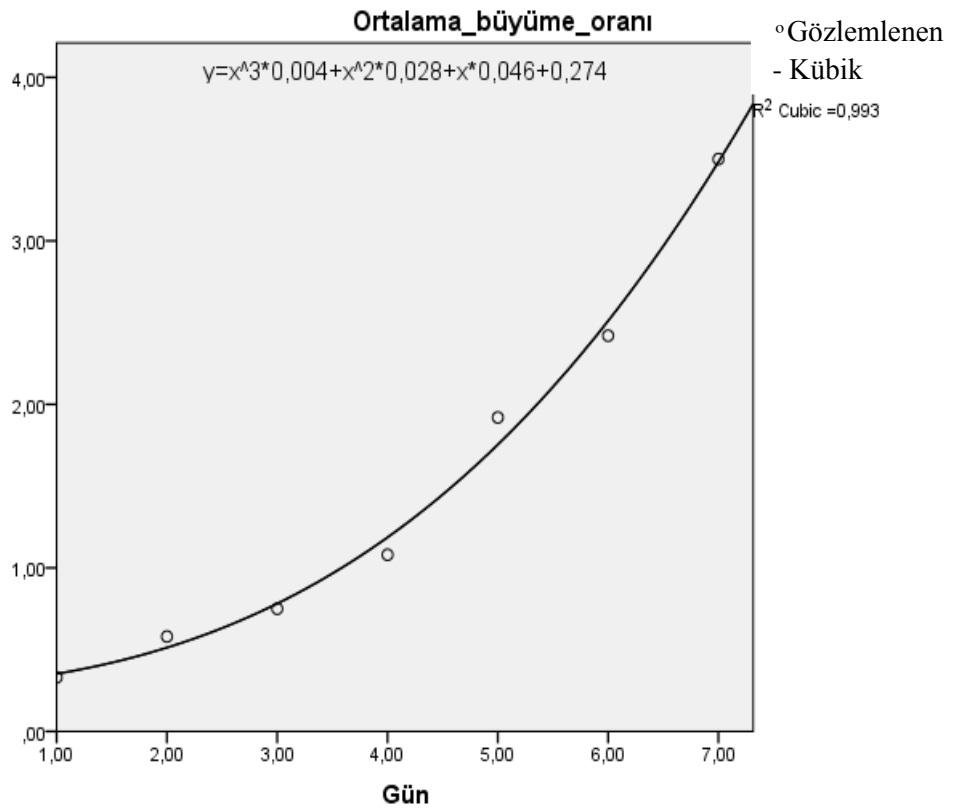
Cd 0.5 mg/l Pb 4 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0.5	0.25	0.75
2. Gün	1	1	1.5
3. Gün	1.5	1	2.5
4. Gün	1.5	1.25	3
5. Gün	3	2	4.25
6. Gün	3.25	3.5	5.25
7. Gün	4.25	4	5.25



Şekil 4.16. *Lemna minor* bitkisinde Cd 0.5 mg/l Pb 4 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.17. Cd 0.5 mg/l Pb 2 mg/l için yaprak sayıları

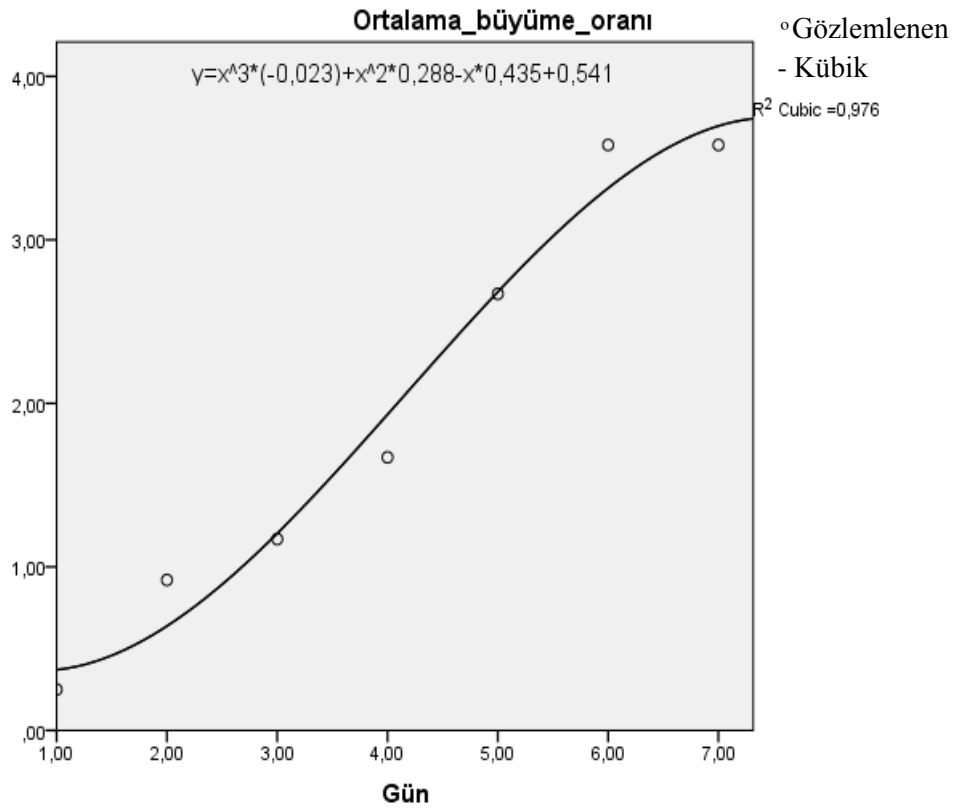
Cd 0.5 mg/l Pb 2 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0.5	0.25	0.25
2. Gün	1	0.25	0.5
3. Gün	1.25	0.25	0.75
4. Gün	1.5	0.75	1
5. Gün	3.75	0.75	1.25
6. Gün	3.75	1.5	2
7. Gün	3.75	3	3.75



Şekil 4.17. *Lemna minor* bitkisinde Cd 0.5 mg/l Pb 2 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.18. Cd 0.5 mg/l Pb 1 mg/l için yaprak sayıları

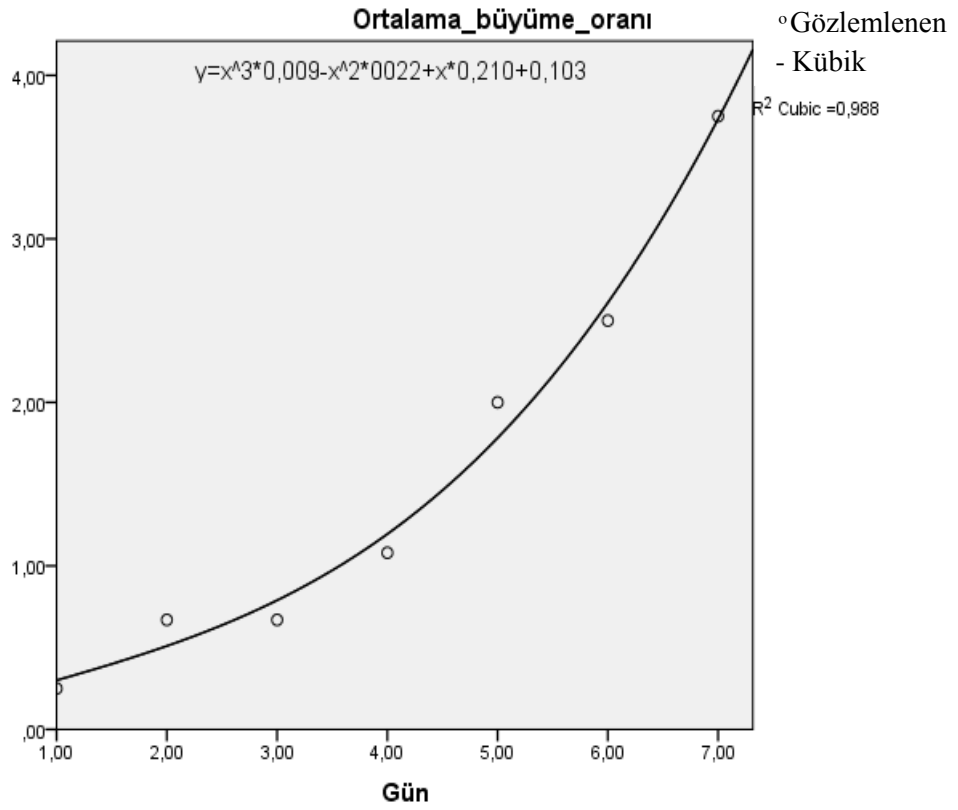
Cd 0.5 mg/l Pb 1 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0	0.25	0.5
2. Gün	1	0.75	1
3. Gün	1.25	1	1.25
4. Gün	1.75	1.25	2
5. Gün	3.75	1.75	2.5
6. Gün	5.25	2.75	2.75
7. Gün	4.5	2.75	3.5



Şekil 4.18. *Lemna minor* bitkisinde Cd 0.5 mg/l Pb 1 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.19. Cd 0.5 mg/l Pb 0.5 mg/l için yaprak sayıları

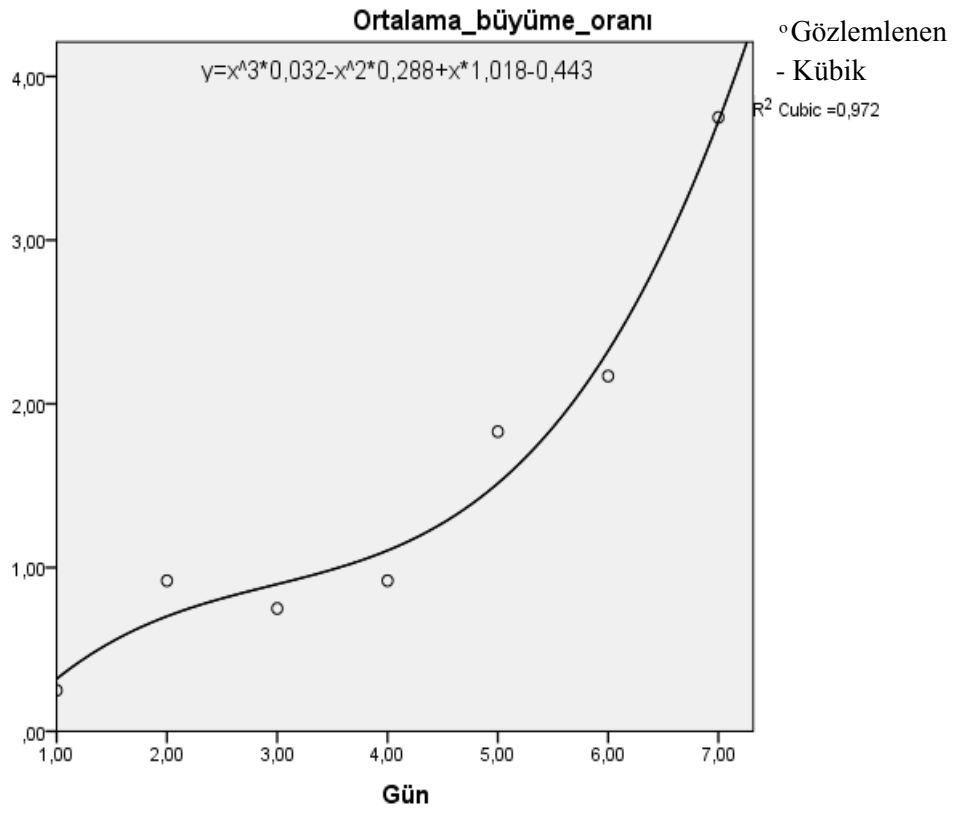
Cd 0.5 mg/l Pb 0.5 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0.25	0.5	0
2. Gün	1	1	0
3. Gün	1	1	0
4. Gün	1.75	1.25	0.25
5. Gün	3.25	2	0.75
6. Gün	3.75	3	0.75
7. Gün	4	4.5	2.75



Şekil 4.19. *Lemna minor* bitkisinde Cd 0.5 mg/l Pb 0.5 mg/l değerinde regrasyon grafiği

Çizelge 4.20. Cd 0.5 mg/l Pb 0.1 mg/l için yaprak sayıları

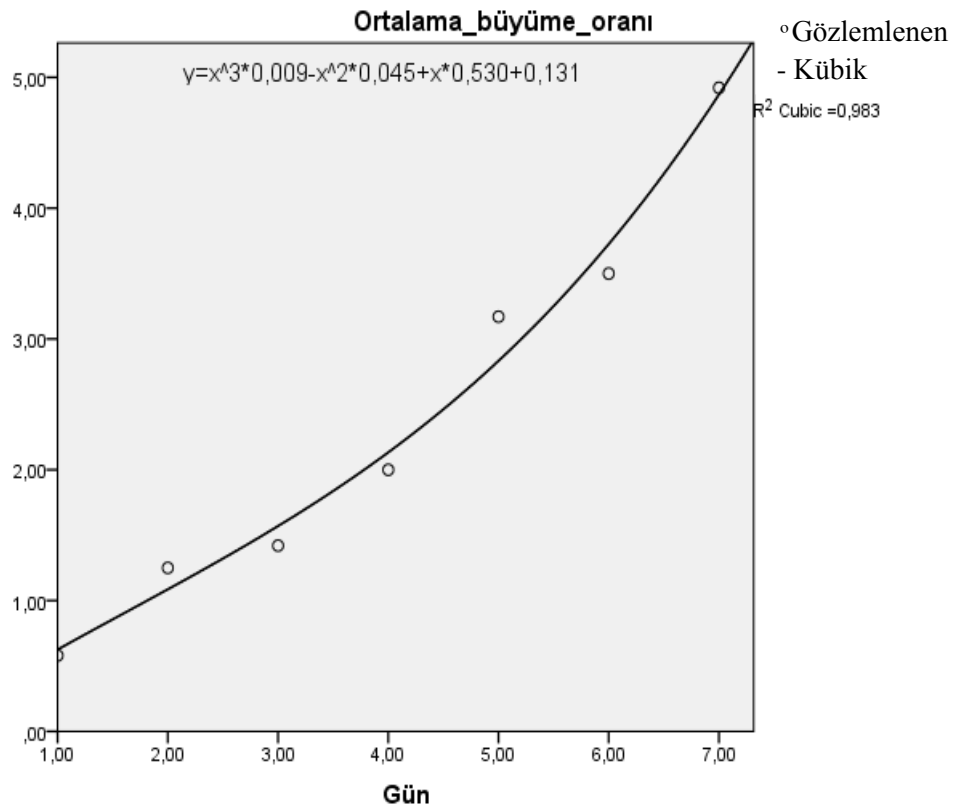
Cd 0.5 mg/l Pb 0.1 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0	0.5	0.25
2. Gün	0.25	0.75	1.75
3. Gün	0.25	0.75	1.25
4. Gün	0.25	0.75	1.75
5. Gün	1	1.75	2.75
6. Gün	1.5	1.75	3.25
7. Gün	3.25	3	5



Şekil 4.20. *Lemna minor* bitkisinde Cd 0.5 mg/l Pb 0.1 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.21. Cd 1 mg/l Pb 4 mg/l için yaprak sayıları

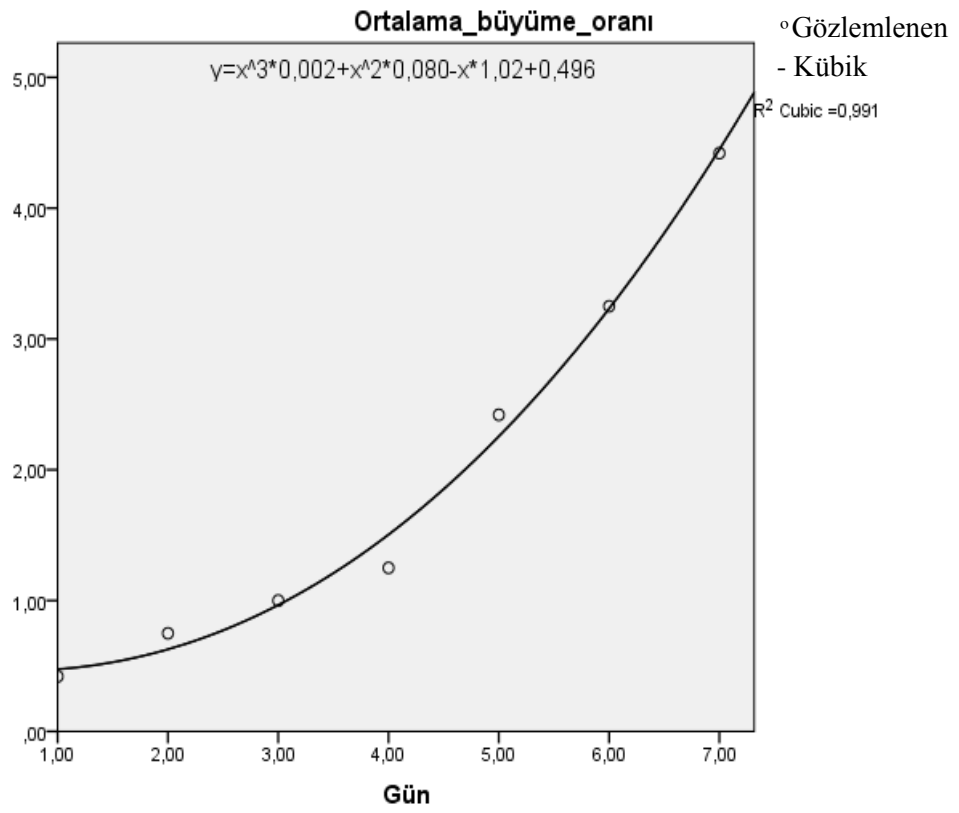
Cd 1 mg/l Pb 4 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0.75	0.25	0.75
2. Gün	1.5	0.75	1.5
3. Gün	2	1	1.25
4. Gün	3	1.5	1.5
5. Gün	4.25	2.5	2.75
6. Gün	4.5	3.25	2.75
7. Gün	6	4.25	4.5



Şekil 4.21. *Lemna minor* bitkisinde Cd 1 mg/l Pb 4 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.22. Cd 1 mg/l Pb 2 mg/l için yaprak sayıları

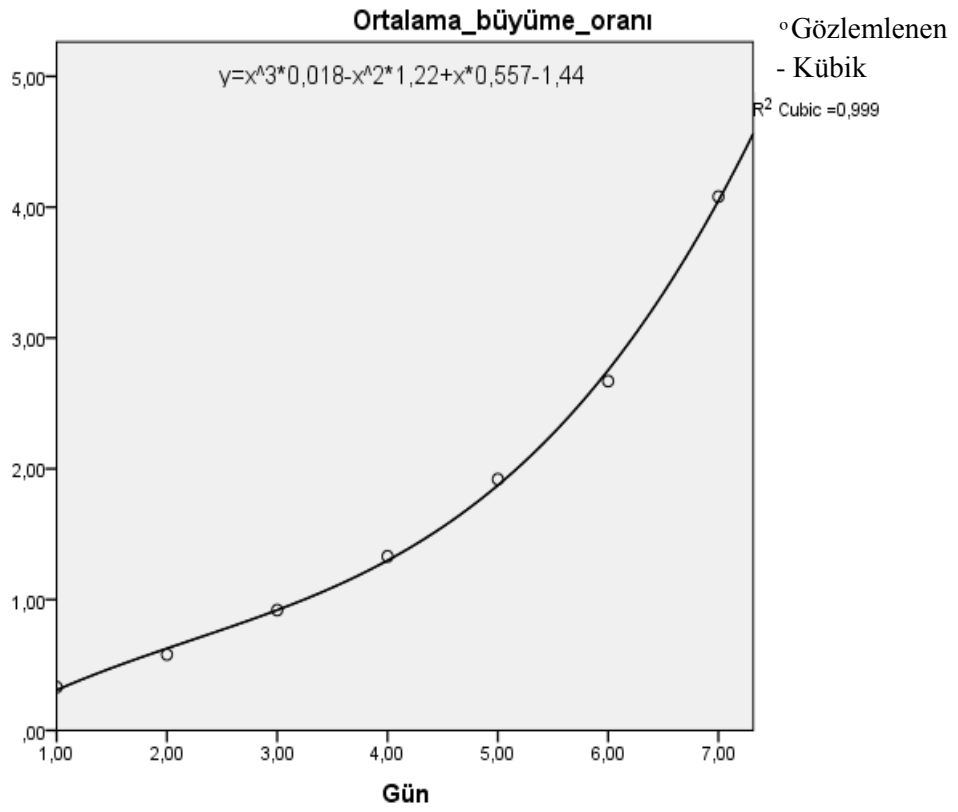
Cd 1 mg/l Pb 2 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0.5	0.5	0.25
2. Gün	0.75	0.75	0.75
3. Gün	1.25	0.75	1
4. Gün	1.75	1	1
5. Gün	2.75	2.5	2
6. Gün	4	2.75	3
7. Gün	5	3.75	4.5



Şekil 4.22. *Lemna minor* bitkisinde Cd 1 mg/l Pb 2 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.23. Cd 1 mg/l Pb 1 mg/l için yaprak sayıları

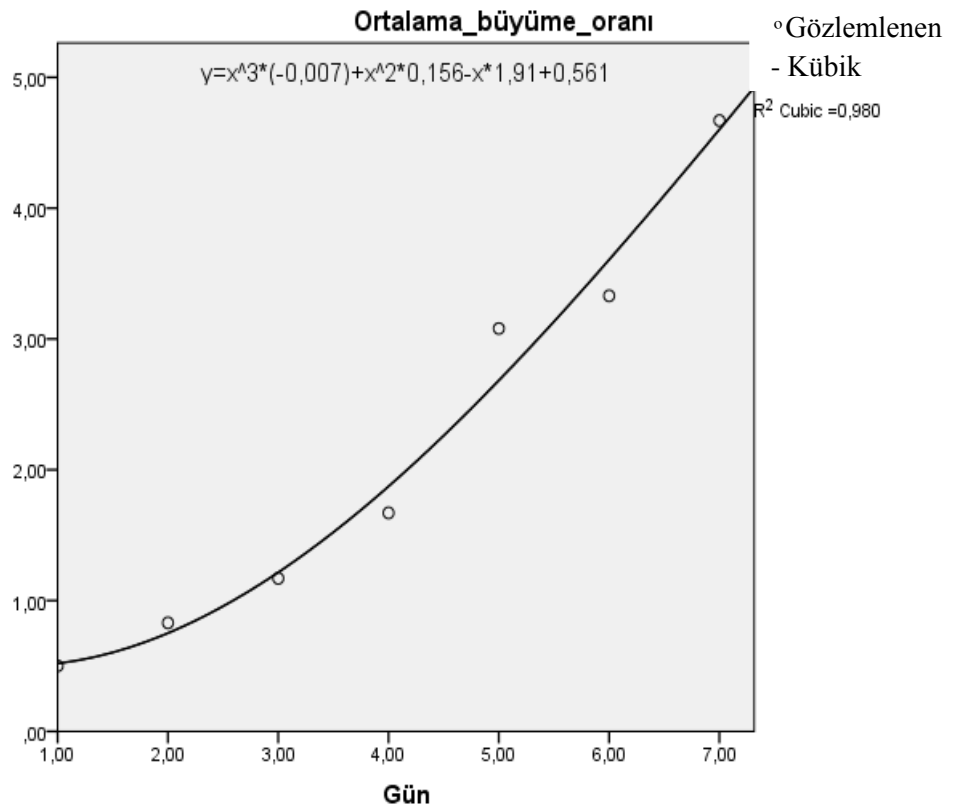
Cd 1 mg/l Pb 1 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0.75	0	0.25
2. Gün	1.25	0.25	0.25
3. Gün	1.5	0.5	0.75
4. Gün	2	1	1
5. Gün	2,75	1	2
6. Gün	3,75	1,5	2,75
7. Gün	4,25	3,5	4,5



Şekil 4.23. *Lemna minor* bitkisinde Cd 1 mg/l Pb 1 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.24. Cd 1 mg/l Pb 0.5 mg/l için yaprak sayıları

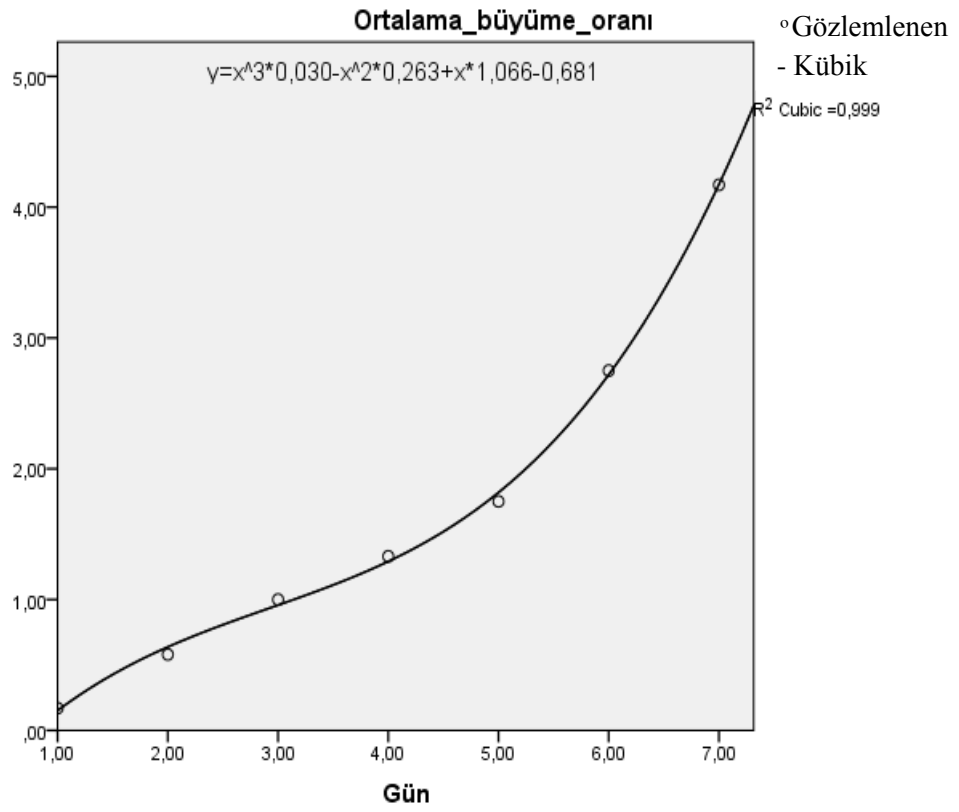
Cd 1 mg/l Pb 0.5 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	1,25	0	0,25
2. Gün	1,25	0,5	0,75
3. Gün	2	0,5	1
4. Gün	2,75	1	1,25
5. Gün	4,5	2,25	2,5
6. Gün	4,25	2,5	3,25
7. Gün	5.25	4.5	4.25



Şekil 4.24. *Lemna minor* bitkisinde Cd 1 mg/l Pb 0.5 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.25. Cd 1 mg/l Pb 0.1 mg/l için yaprak sayıları

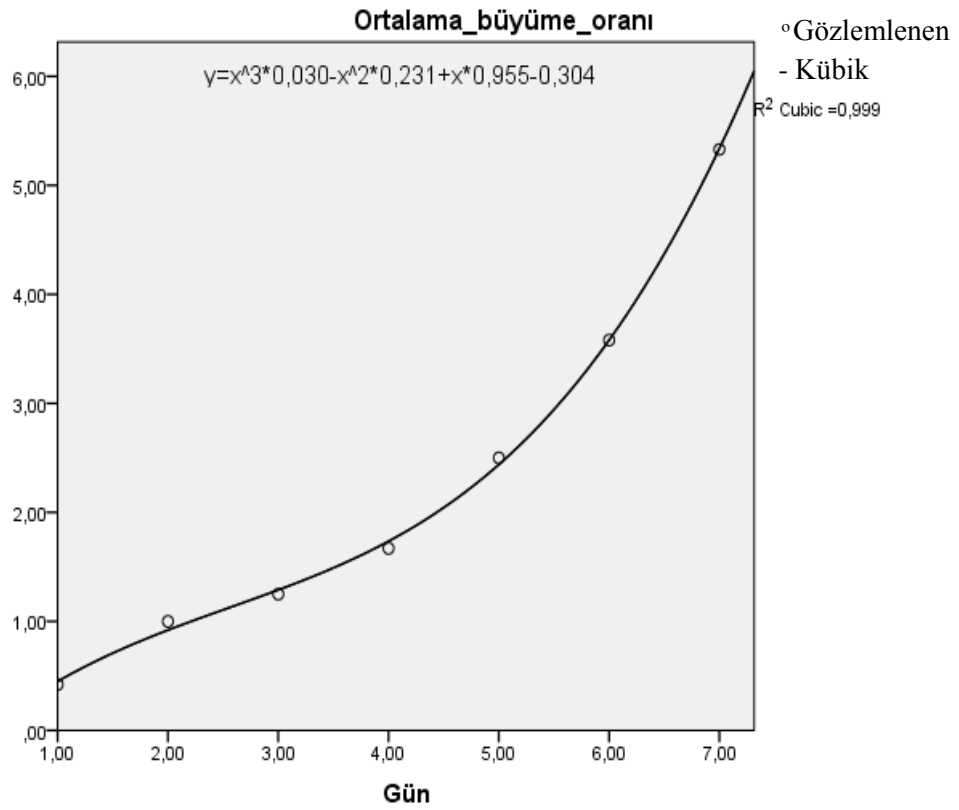
Cd 1 mg/l Pb 0.1 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0	0.25	0.25
2. Gün	0.5	0.75	0.5
3. Gün	1	1	1
4. Gün	1.25	1.25	1.5
5. Gün	1.75	1.75	1.75
6. Gün	2.5	2.5	3.25
7. Gün	4.5	3.25	4.75



Şekil 4.25. *Lemna minor* bitkisinde Cd 1 mg/l Pb 0.1 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.26. Cd 2 mg/l Pb 4 mg/l için yaprak sayıları

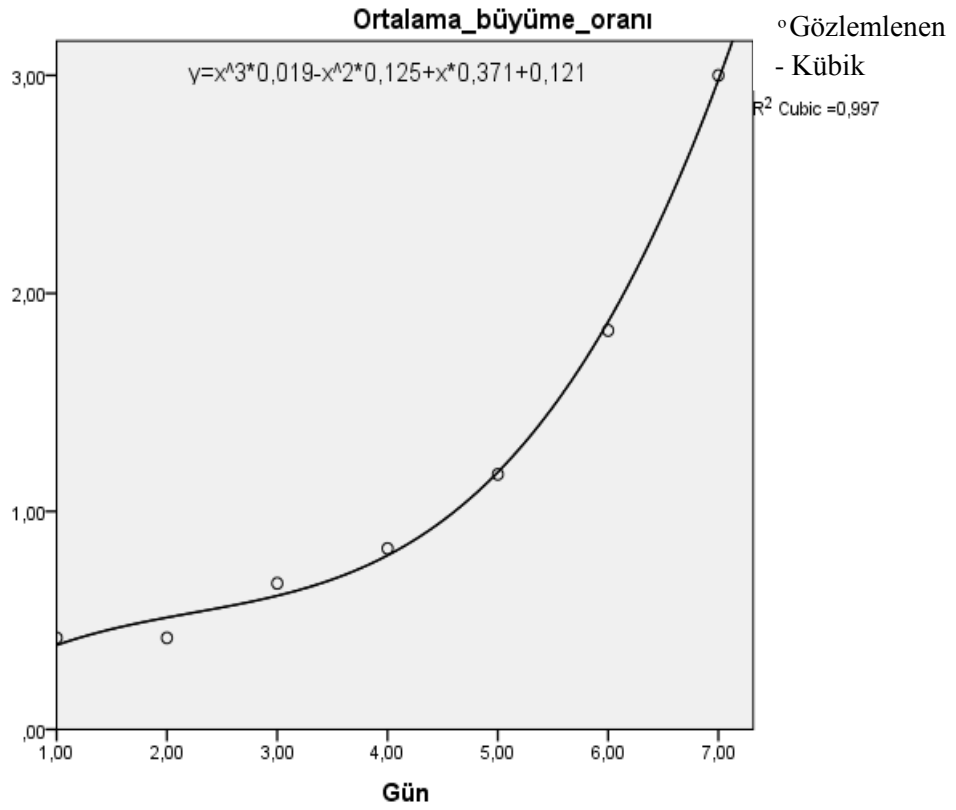
Cd 2 mg/l Pb 4 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0.75	0.5	0
2. Gün	1.25	1.25	0.5
3. Gün	1.25	1.5	1
4. Gün	1.5	1.75	1.75
5. Gün	3	2.5	2
6. Gün	3.75	3.75	3.25
7. Gün	5.5	6	4.5



Şekil 4.26. *Lemna minor* bitkisinde Cd 2 mg/l Pb 4 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.27. Cd 2 mg/l Pb 2 mg/l için yaprak sayıları

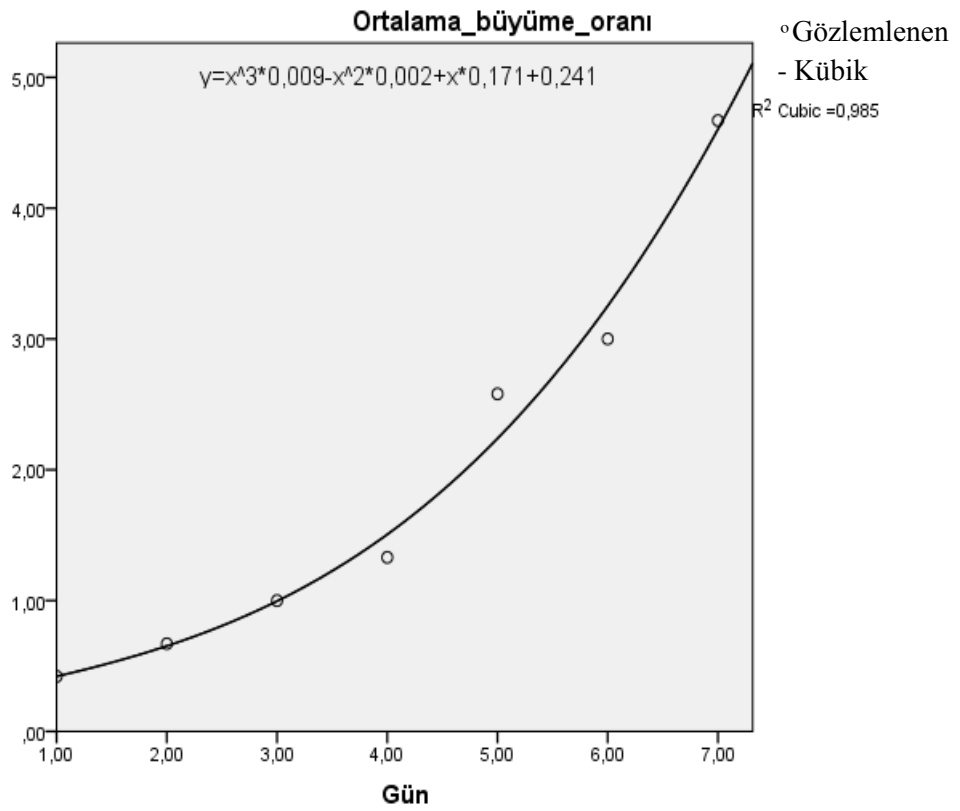
Cd 2 mg/l Pb 2 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0.5	0.75	0
2. Gün	0.5	0.75	0
3. Gün	0.75	0.75	0.5
4. Gün	1,25	0,75	0,5
5. Gün	1,75	1,25	0,5
6. Gün	3	1,75	0,75
7. Gün	4,25	3	1,75



Şekil 4.27. *Lemna minor* bitkisinde Cd 2 mg/l Pb 2 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.28. Cd 2 mg/l Pb 1 mg/l için yaprak sayıları

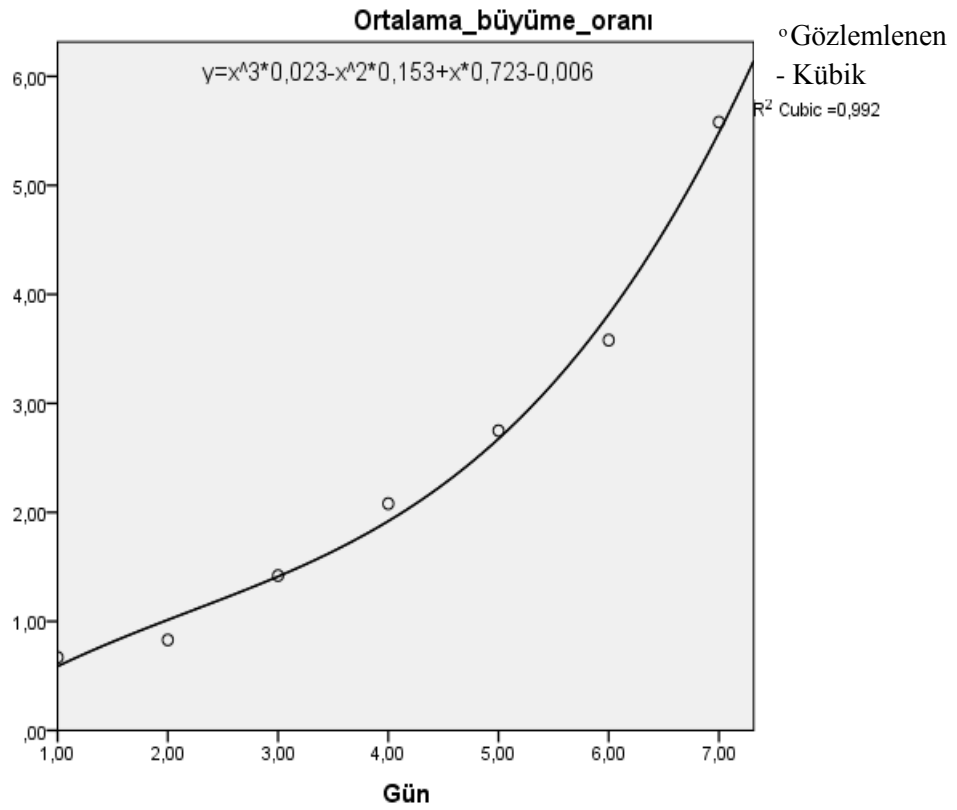
Cd 2 mg/l Pb 1 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0.5	0.25	0.5
2. Gün	0.75	0.75	0.5
3. Gün	1.5	1	0.5
4. Gün	2,25	1,25	0,5
5. Gün	4,25	2,25	1,25
6. Gün	4,25	3	1,75
7. Gün	6,25	4,75	3



Şekil 4.28. *Lemna minor* bitkisinde Cd 2 mg/l Pb 1 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.29. Cd 2 mg/l Pb 0.5 mg/l için yaprak sayıları

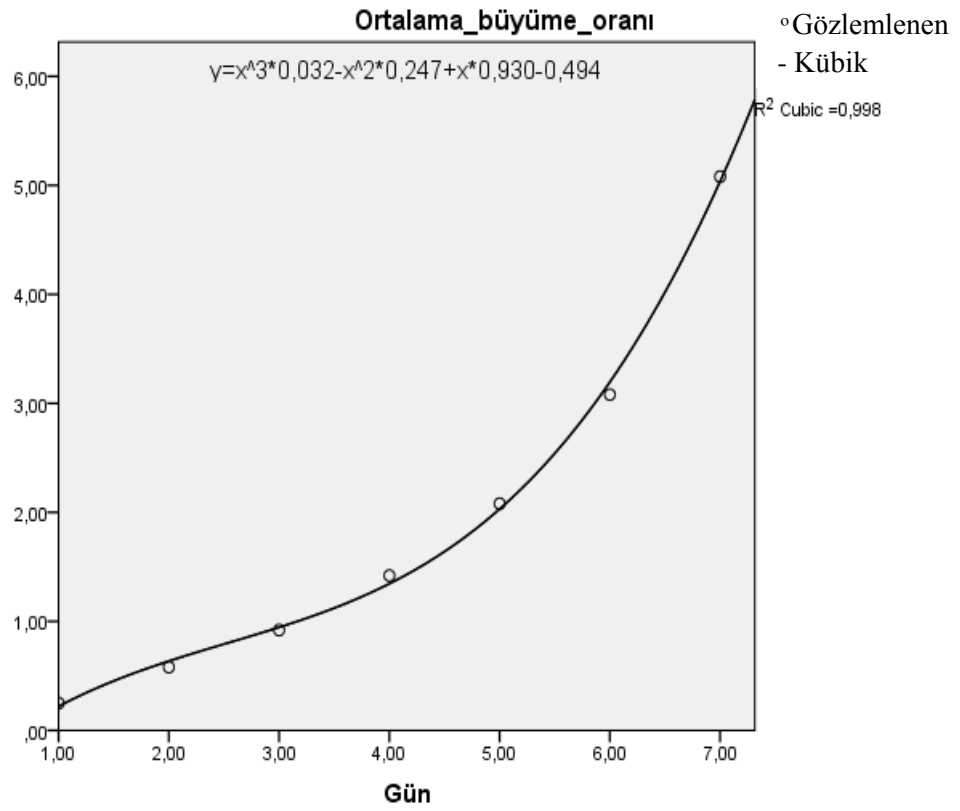
Cd 2 mg/l Pb 0.5 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	1	0,75	0,25
2. Gün	1,25	1	0,25
3. Gün	2	1,75	0,5
4. Gün	2,75	1,75	1,75
5. Gün	3,5	2,75	2
6. Gün	4,5	3,25	3
7. Gün	6.5	5.75	4.5



Şekil 4.29. *Lemna minor* bitkisinde Cd 2 mg/l Pb 0.5 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.30. Cd 2 mg/l Pb 0.1 mg/l için yaprak sayıları

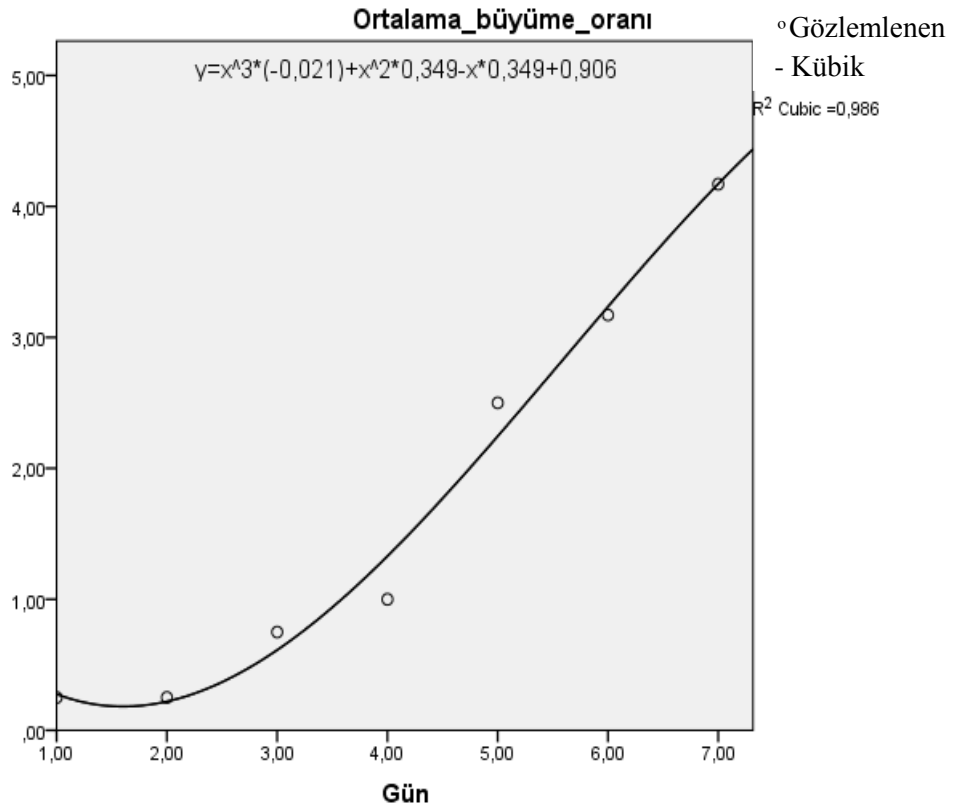
Cd 2 mg/l Pb 0.1 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0	0	0.75
2. Gün	0.25	0	1.5
3. Gün	0.5	0.75	1.5
4. Gün	1	1	2.25
5. Gün	1.5	1.75	3
6. Gün	3	2.5	3.75
7. Gün	4.75	3.75	6.75



Şekil 4.30. *Lemna minor* bitkisinde Cd 2 mg/l Pb 0.1 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.31. Cd 4 mg/l Pb 4 mg/l için yaprak sayıları

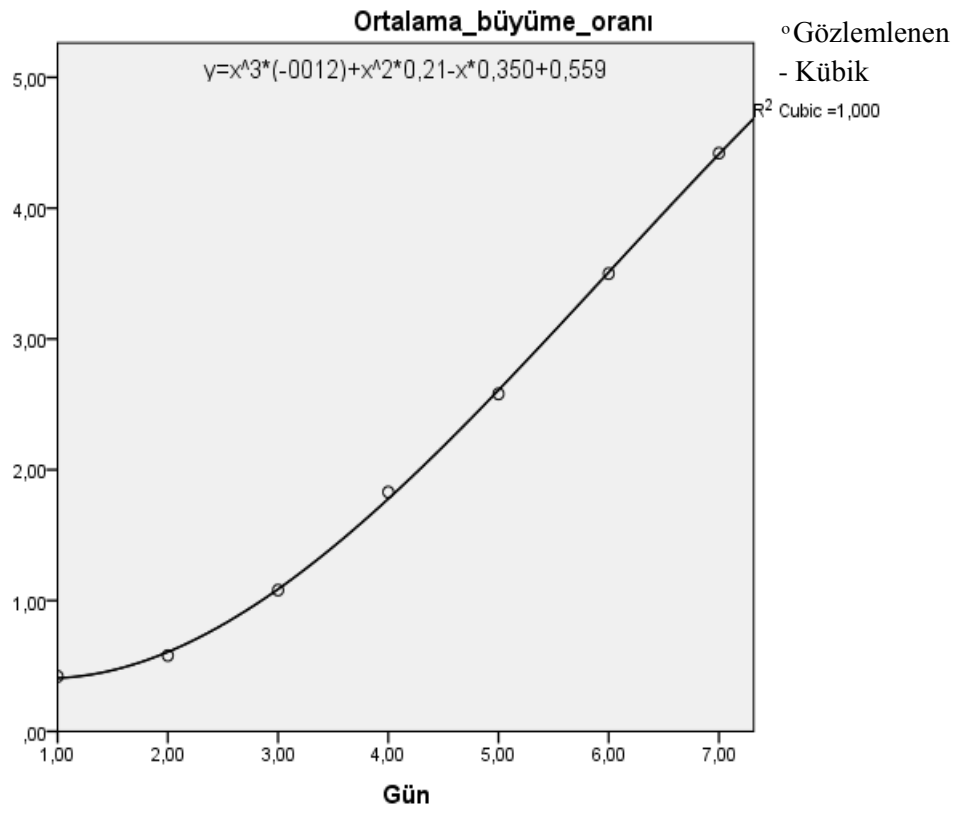
Cd 4 mg/l Pb 4 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0.25	0.25	0.25
2. Gün	0.25	0.25	0.25
3. Gün	0.5	1	0.75
4. Gün	1	1.25	0.75
5. Gün	3	3	1.5
6. Gün	3.5	3.75	2.25
7. Gün	4	5.25	3.25



Şekil 4.31. *Lemna minor* bitkisinde Cd 4 mg/l Pb 4 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.32. Cd 4 mg/l Pb 2 mg/l için yaprak sayıları

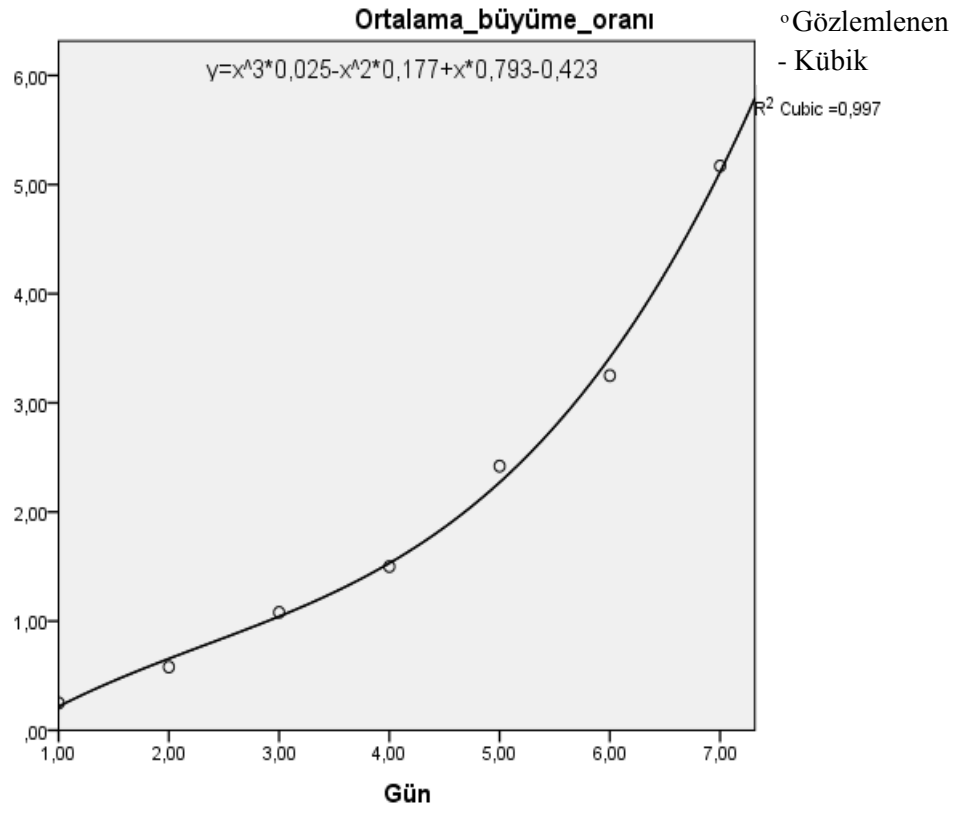
Cd 4 mg/l Pb 2 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0	0.75	0.5
2. Gün	0.25	0.75	0.75
3. Gün	0.5	1.5	1.25
4. Gün	1	2,5	2
5. Gün	1,75	3,75	2,25
6. Gün	2,5	4,75	3,25
7. Gün	4	5,5	3,75



Şekil 4.32. Lemna minor bitkisinde Cd 4 mg/l Pb 2 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.33. Cd 4 mg/l Pb 1 mg/l için yaprak sayıları

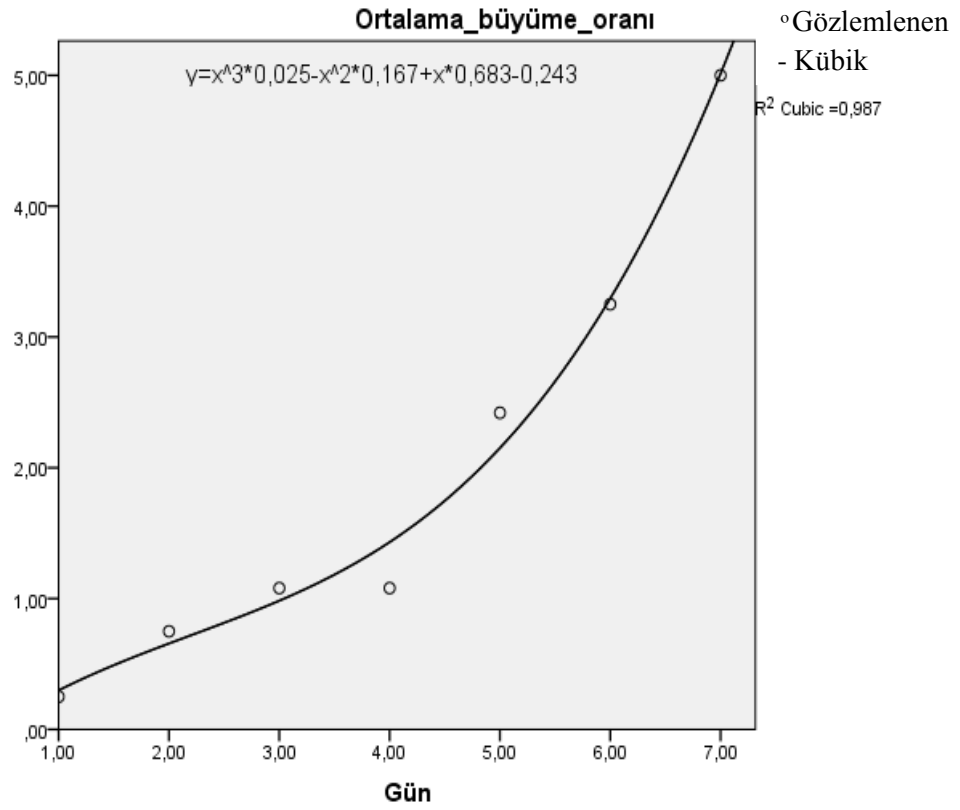
Cd 4 mg/l Pb 1 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0.25	0.5	0
2. Gün	0.5	1	0.25
3. Gün	1	1.75	0.5
4. Gün	1,25	2,25	1
5. Gün	2	3,5	1,75
6. Gün	2,5	4,5	2,75
7. Gün	4,75	6,25	4,5



Şekil 4.33. *Lemna minor* bitkisinde Cd 4 mg/l Pb 1 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.34. Cd 4 mg/l Pb 0.5 mg/l için yaprak sayıları

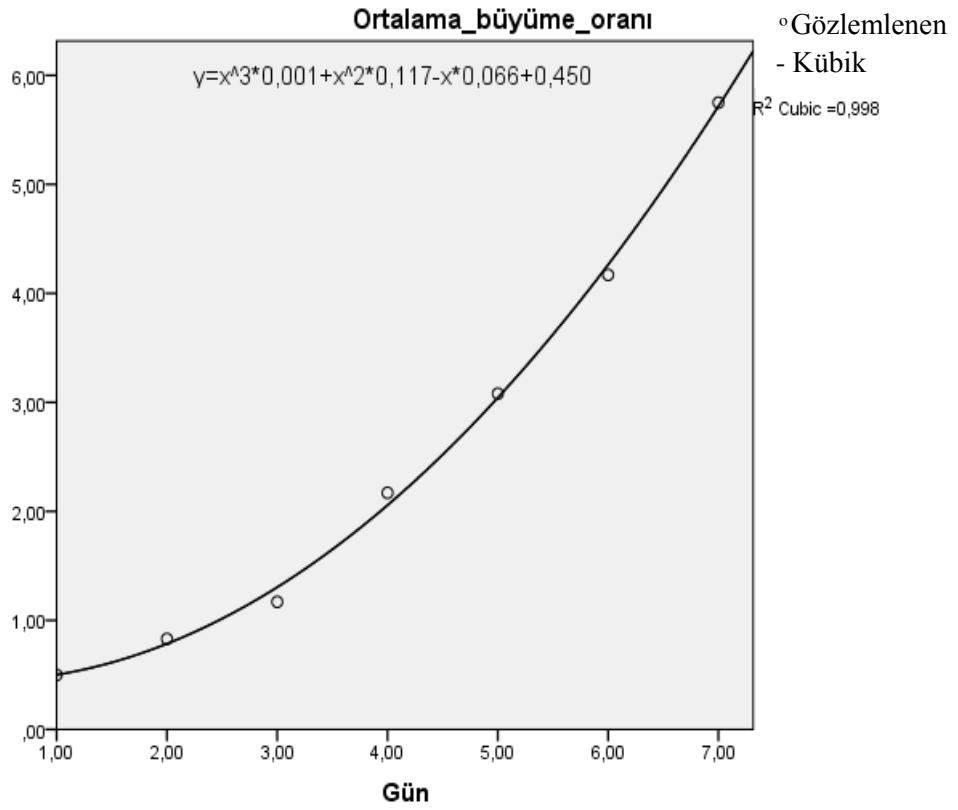
Cd 4 mg/l Pb 0.5 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0	0,75	0
2. Gün	0,25	1,25	0,75
3. Gün	0,5	1,75	1
4. Gün	1,25	0,75	1,25
5. Gün	1,5	3,25	2,5
6. Gün	2,75	3,75	3,25
7. Gün	4	6,5	4,5



Şekil 4.34. *Lemna minor* bitkisinde Cd 4 mg/l Pb 0.5 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.35. Cd 4 mg/l Pb 0.1 mg/l için yaprak sayıları

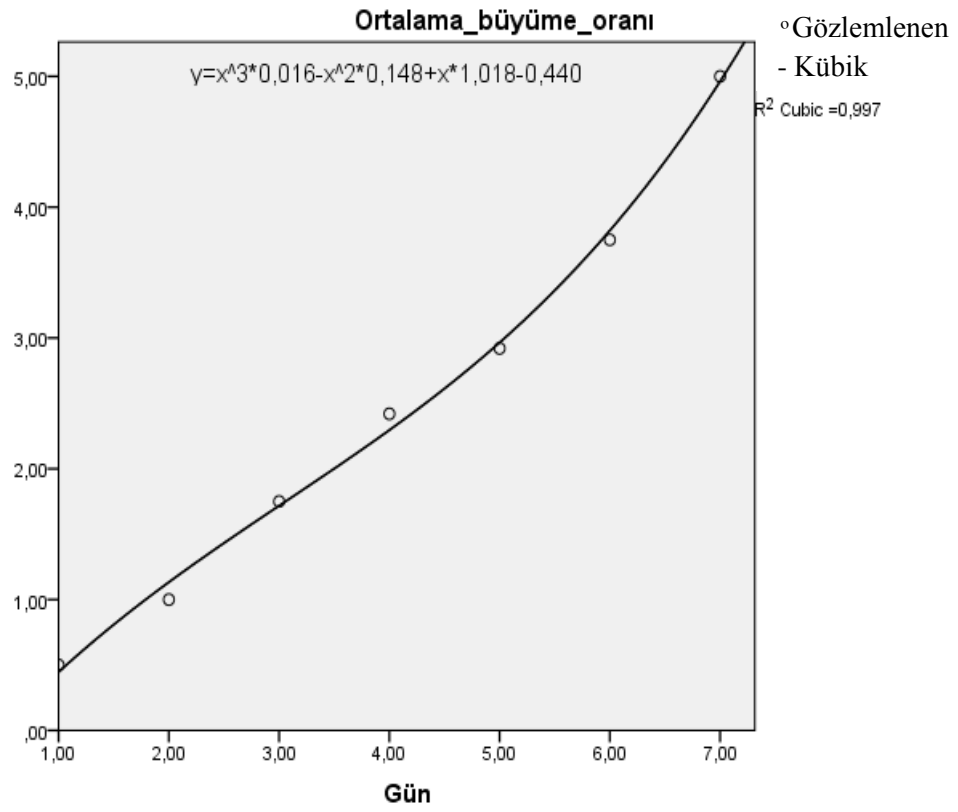
Cd 4 mg/l Pb 0.1 mg/l			
	a	b	c
1. Gün	0.5	0.25	0.75
2. Gün	0.75	0.75	1
3. Gün	1.25	1.25	1
4. Gün	2.25	2.5	1.75
5. Gün	4.25	3	2
6. Gün	4	4.5	4
7. Gün	4.75	6.5	6



Şekil 4.35. *Lemna minor* bitkisinde Cd 4 mg/l Pb 0.1 mg/l değerinde regresyon grafiği

Çizelge 4.36. Kontrol grubu için yaprak sayıları

	Kontrol Grubu		
	a	b	c
1. Gün	0.5	0.5	0.5
2. Gün	1	1.25	0.75
3. Gün	1.5	2.5	1.25
4. Gün	2.25	3.75	1.25
5. Gün	2.5	5	1.25
6. Gün	4.25	5.25	1.75
7. Gün	4.5	6	4.5



Şekil 4.36. *Lemna minor* bitkisinde kontrol grubu için regresyon grafiği

5. TARTIŞMA

Birçok canlıya ev sahipliği yapan yerküre. çeşitli kirletici unsurların tehdidi altında bulunmakta olup bu kirletici unsurların tehlikeli sınıflardan birini ağır metaller oluşturmaktadır. Artan dünya nüfusunun ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik gelişen sanayi sektörü yasal düzenlemenin olmaması ve yaptırımların uygulanabilir olmamasından faydalanarak kirletici maddeleri kontrolsüz olarak doğaya bırakmaktadırlar. Söz konusu kirletici maddeler içerisinde yer alan ağır metaller farklı ekosistemlerde farklı canlı türlerinde kalıcı hasarlar bırakabilmektedir. Ağır metallerin ekosistem ve canlılarda bırakmış olduğu hasarları anlaşılabilir kılmak adına yapılan bilimsel çalışmalar mevcut olup genelinde tek metalin etkisi işlenmiştir. Dirilgen 1998' de pH' ın ve EDTA' nın Cr toksisitesi ve *Lemna minor*' da birikimi üzerine etkilerini çalışmıştır. Kara ve ark., 2003' de Ni' in sucul makrofit *Lemna minor* tarafından biyolojik birikimi üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Rahman ve ark., 2011' de *Eichhornia crassies* (su sümbülü), *Lemna gibba*, *Lemna minor*, *Spirodela polyrhiza* (su mercimekleri), *Azolla caroliniana*, *Azolla filiculoides* ve *Azolla pinnata* (eğrelti otları), *Pistia stratiotes* (su marulu), *Hydrilla verticillata* (hydrilla), *Lepidium sativum* (su teresi) gibi sucul bitkilerin arsenik alım yetenekleri ve mekanizmaları araştırılmış ve iyileştirme çalışmalarındaki potansiyelleri değerlendirilmiştir. Ustaoglu ve ark., (2015)' de sucul ortamlardaki bakırın *Lemna minor* ile fitoremediasyonunu çalışmışlardır.

Lemna minor ile yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğunu tek metal kullanılarak yapılan çalışmalar oluşturuyor olsa da iki veya daha fazla metalin kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur. Khellaf ve ark., (2010)' da Cd, Cu, Ni, Zn metallerinin farklı konsantrasyonlarına maruz bırakılan *Lemna minor*' un gelişimi üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve günlük semptomlarını incelemişlerdir. Metallerin bitkiler üzerinde ve sudaki karışımlarının toksik etkileşimlerini açıklamak güç olduğundan, karışım ile ilgili çalışmalar oldukça sınırlıdır (Horvat ve ark., 2007). Kirlenmiş ortamlarda ağır metaller karışım halinde mevcut olduğundan bu karışımların konsantrasyonlarının eşit değil de farklı olması beklenen bir durumdur. Yapmış olduğumuz bu çalışmada iki farklı metalin değişik dozlarda, *lemna minor* üzerindeki kombine toksik etkisi bu sebeple gözlenmek istenmiştir. Kurmuş olduğumuz çalışma ortamının inceleme verilerine baktığımız zaman, iki metalin *lemna minor* üzerindeki

toksik etkisi karşılaştırıldığında, uygulanan tüm konsantrasyonlarda Pb'nin Cd' ye göre daha toksik olduğu gözlenmiştir. Pb toksisitesinin Cd toksisitesinden farklı olarak 0.5 mg/l konsantrasyonundan sonra artış gösterdiği gözlemlenirken Cd toksisitesi verilen dozlarda dalgalanma göstermiştir (Çizelge 5.1). Uysal ve Taner 2009' da sucul bitki *Lemna minor*' un çözünür Pb' nin farklı laboratuvar koşullarında uzaklaştırma yeteneğinin incelenmesi için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. *Lemna minor*, farklı Ph değerlerine ve sıcaklığa maruz bırakılmıştır. 168 saat boyunca kuru ağırlık bazında elde edilen biyomas miktarı, Pb ortamındaki ve *Lemna minor* tarafından tutulan net miktarı her koşulda çalışma periyodu boyunca ölçülmüştür. Ortamda bulunan Pb konsantrasyonunun artışıyla Pb akümüülasyonunun da arttığı gözlenmiştir. Pb konsantrasyonunun artışı ile birikim miktarındaki artış yapmış olduğumuz çalışmada Pb' nin artan konsantrasyonlarda toksik etkisinin neden arttığını açıklamaktadır. Piston ve ark. 1999' da yapmış oldukları çalışmada Se' nin *Lemna minor* üzerindeki büyüme etkileri araştırılmış ve şu sonuçlara ulaşılmıştır: 50 mg/L Se' nin 1 hafta süresinde, bitkilerin renginde solma meydana getirmiştir. Se' nin düşük konsantrasyonlarında bitkilerde önemli bir değişiklik kaydedilmemiş ve bitkilerin kümelenerek bir arada yüzdüğü gözlemlenmiştir. Konsantrasyon arttıkça bitkilerde ayrılmalar ve tek başına yüzmeler görülmüştür. Yapmış olduğumuz çalışmada, düşük konsantrasyonlarda aynı şekilde kümelenme görülürken artan konsantrasyonlarda kümelenmenin dağılıp yapraklarda solmalar olduğu tarafımızca gözlenmiştir. Prasad ve ark. 2001' de yapmış oldukları çalışmada, *Lemna trisulca L.* üzerinde Cu ve Cd' un etkilerini araştırmışlardır. Yapılan çalışma sonucuna göre Cu' nun Cd' ye oranla 1000 kat daha düşük konsantrasyonlarda toksik etki gösterdiği gözlenmiştir. Bu çalışmada ise Pb' nin Cd' ye göre daha toksik olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.1 Cd ve Pb' nin *Lemna minor* üzerindeki tekli metal etkileri

Metal	Test Konsantrasyonu (mg/l)	Deney Sonucu Yaprak Büyüme Ortalamaları
Cd	0.1	6.08
	0.5	7.5
	1	7.25
	2	7.5
	4	7.91
Pb	0.1	5.41
	0.5	6
	1	5.5
	2	5
	4	4.16

Karışım içerisinde bulunan metaller birbirlerinin etkilerini arttırıcı, azaltıcı veya ihmal edilebilir düzeyde etki gösterebilirler (Paustenbach, 2000). Bu çalışmada Cd ve Pb' nin kombine toksik etkileri incelendiğinde; Pb için 0,1 ile 0,5 mg/L' lik doz geçişinde büyüme stimüle edilmiş daha sonra doz artışıyla büyümede inhibasyon görülerek hormesis fenomeni oluşmuştur. 0.1 mg/L' lik Cd konsantrasyonunda etkiler tüm konsantrasyonlar için additice olarak bulunmuştur. Ancak artan konsantrasyonla beraber sinejistik etkiler de görülmeye başlanmıştır. 0.5, 1 ve 2 mg/L konsantrasyonlarda, konsantrasyon artışlarına bağlı olarak sinerjistik etki sayısında azalma görülürken, 4 mg/L' lik maksimum konsantrasyonda sinerjistik etki sayısında tekrar artış görülmüştür. Pb için ise Cd' den farklı olarak kombine toksik etki en az konsantrasyon olan 0,1 mg/L de maksimum sinerjistik etki yakalanırken artan doza beraber dalgalanmalar gözlenmiş, oluşan trend Cd' ye benzerlik göstermiştir. Artan konsantrasyonlarda sinerjistik etkinin azalma eğilimi maksimum konsantrasyona yaklaştıkça artma eğilimine döndüğü görülmektedir (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2. Cd ve Pb' nin *Lemna minor* üzerindeki kombine toksik etkisi

Metal Çifti		Deney sonucu ortalaması	Hesaplanan değerler ortalaması	Fark	İstatistiksel Anlamlılık	Etki
Cd	Pb					
0,1	4	6.58±3.26	5.08±1.66	-1.5	0.121	ADD
0.1	2	4.66±2.29	6.08±1.91	1.42	1.268	ADD
0.1	1	5.5±2.89	6.68±1.94	1.18	0.827	ADD
0.1	0.5	5.25±2.86	7.29±2.21	2.04	0.513	ADD
0.1	0.1	5.58±3.16	6.57±1	0.99	0.827	ADD
0.5	4	4.5±2.18	6.24±2.04	1.74	0.05	SIN
0.5	2	3.5±1.50	7.5±3.06	4	0.046	SIN
0.5	1	3.58±1.65	8.25±3.39	4.67	0.05	SIN
0.5	0.5	3.75±1.88	9±3.69	5.25	0.05	SIN
0.5	0.1	3.75±2	8.11±3.15	4.36	0.05	SIN
1	4	4.91±2.05	6.03±2.05	1.12	0.127	ADD
1	2	4.41±1.75	7.25±2.75	2.84	0.05	SIN
1	1	4.08±1.78	7.97±3.13	3.89	0.05	SIN
1	0.5	4.76±2.33	8.7±3.22	3.94	0.05	SIN
1	0.1	4.16±2.13	7.84±2.89	3.68	0.05	SIN
2	4	5.33±1.68	6.24±2.42	0.91	0.127	ADD
2	2	3±0.58	7.5±3.51	4.5	0.05	SIN
2	1	4.66±1.89	8.25±3.19	3.59	0.127	ADD
2	0.5	5.58±2.61	9±3.20	3.42	0.127	ADD
2	0.1	5.08±2.51	8.11±2.80	3.03	0.05	SIN
4	4	4.16±0.09	6.58±3.28	2.42	0.05	SIN
4	2	4.41±1.29	7.91±3.31	3.5	0.05	SIN
4	1	5.16±2.15	8.7±3.28	3.54	0.127	ADD
4	0.5	5±2.36	9.49±3.60	4.49	0.05	SIN
4	1	5.75±2.40	8.55±3.08	2.8	0.05	SIN

ADD: Etkisiz, SIN: Arttırıcı yönde etki

Ghiani ve ark., (2014), biyoindikatör olarak kullanılan *Trifolium repes L.* üzerinde Cd ve As' in kombine toksik ve genotoksik etkisini araştırmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada iki farklı metal tarafından kirletilen toprakta, toksik etkinin bitki üzerinde daha yoğun olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Verilen dozlardan As 5 mg/L, Cd 60 mg/L - As 10 mg/L, Cd 60 mg/L - As 20 mg/L, Cd 60 mg/L konsantrasyonları kök ve sürgünlerdeki büyümeye etkileri sinerjistik olmuştur. Yapmış olduğumuz çalışma ile benzerlik gösteren bu sonuç metallerin karışım içerisinde birbirini etkilediği

anlamını taşımaktadır. Üçüncü ve ark., (2013), yapmış oldukları çalışmada farklı ağır metal karışımlarının *L. minor* üzerindeki büyümeye etkilerini gözlemlemiştir. Cr+Pb 20,8-02 (mg/L) konsantrasyonlu karışımın, kontrol grubundan daha yüksek büyüme oranı gösterdiği gözlenirken Cr+Pb+Cu 10,4-0,2-3 (mg/L) ve Pb+Cu 0,4-3 mg/L konsantrasyonlu karışımların kontrol grubu ile eşdeğer büyüme oranı gösterdiği gözlemlenmiştir. Farklı konsantrasyonlardaki karışımların büyümeye etkisinin negatif yönlü olabileceği gibi pozitif yönlüde olacağı sonucu bizim kurmuş olduğumuz çalışmada da gözlemlediğimiz bir sonuç olmuştur. Dirilgen, (2011) yapmış olduğu çalışmada Pb ve Hg etkileşiminin *L. minor* üzerindeki büyümeye etkisini istatistiki olarak anlamlı bulmuştur. Yapmış olduğumuz çalışmada Cd ve Pb etkileşiminin büyümeye etkisi değişkenlik göstermiştir ki iki çalışma arasında ki farklılığın verilen metallerin farklı dozlarda ve farklı metal kullanımından olduğu tarafımızca düşünülmektedir. Megateli ve ark., (2009) yapmış oldukları çalışmada, *L. gibba*' da Cd, Cu, Zn toksisitesi ve akümülyasyonunu incelemişlerdir. Cd, Cu ve Zn için artan dozlarda bitkinin büyümesinde yavaşlama gözlenen çalışmada toksisite etkisi en fazla Cd' de görülmüş olup Cu ve Zn olarak takip etmiştir. Çalışmamızda toksik etki Pb>Cd olup Pb' nin artan dozları *L. minor* büyümesinde negatif etkiyi doğrusal olarak göstermekte iken Cd' nin artan dozlarında büyüme dalgalanma göstererek azalış göstermiştir. Hou ve ark., (2007) yapmış oldukları fitoremediasyon çalışmasında Cd ve Cu' nun *L. minor*' de toksik etkilerini incelemişlerdir. Yapmış oldukları çalışma sonucunda Cd, Cu' dan daha toksik bulunmuş ve düşük konsantrasyonda Cd ve Cu kirliliği olan sucul alanların *L. minor* ile temizlenebileceğini belirtmişlerdir.

Naumann ve ark., (2007), yapmış oldukları çalışmada *L. minor*' de on farklı ağır metalin büyümeye etkisini incelemişlerdir. Ağır metallerin bitkiye göstermiş olduğu toksik etkileri $Ag^+ > Cd^{2+} > Hg^{2+} > TI^+ > Cu^{2+} > Ni^{2+} > Zn^{2+} > Co^{2+} > Cr(VI) > As(III) > As(V)$ şeklinde sıralamışlardır.

Uysal ve ark., (2007), yapmış oldukları çalışmada 0,005-20,5 ppm dozundak Cd iyonunun *L. minor*' deki büyüme hızına olan etkisini çalışmışlardır. Yaptıkları çalışma neticesinde Cd iyonunun *L. minor* için toksik etki gösterdiği ve büyüme hızını düşürdüğü sonucuna ulaşılmıştır. Yapmış olduğumuz çalışma bulunan sonuçları destekler niteliktedir.

6. SONUÇ

Endüstri faaliyetleri sonucu ortama karışan ağır metaller çeşitli taşınım yolları neticesinde doğamızı kirleterek bizlerin yaşam kalitesini düşürmektedirler. Oysaki canlı yapısında eser miktarda bulunması gereken metallerin doğal olmayan yollarla vücuda girmesi neticesinde tüm canlıların vücut komplikasyonlarında aksaklıklar meydana gelmektedir. Bu sebeplerden dolayı ağır metal kirliliğinin tüm detayları ile anlaşılabilir oluşu gelecek dönemlerde alınabilecek tedbirler açısından büyük önem arz etmektedir.

Kullanılan ağır metallerin *Lemna minor* üzerinde, birbirleri ile etkileşime girerek etki ettikleri ve verilen dozlara göre bu etkilerde farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir.

Bu tez çalışmasında Pb ve Cd' un *Lemna minor* üzerindeki kombine toksik etkisi işlenmiş olup Pb' nin Cd' a göre daha toksik olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Cd artan dozlarda toksik etkisini dalgalanma şeklinde gösterirken Pb' de hormesis etkisi gözlenmiş ve ardından artan dozlara paralel bir büyüme inhibisyonu saptanmıştır. Kombine toksik etkilerde de her iki metal arasında farklılıklar gözlemlendiği gibi benzer taraflarının da bulunduğu belirlenmiştir. Cd düşük dozlarda additi etki gösterirken artan dozlarla beraber etki sinerjistik olarak kendini gösterir. Pb de ise her doz için sinerjistik etki gözlenmektedir. Ancak gruplarda oluşan toplam sinerjistik etki sayısının gözlenen trendi, paralel dalgalanmalar göstererek Cd' de ve Pb için benzerlik ortaya koymaktadır. Ayrıca gerçekleştirilen çalışma kapsamında, bu iki metalin *Lemna minor* üzerinde antagonistik etkisi gözlenmemiştir.

Cd 0.1 mg/l'ten 0.5 mg/l'te arttırılan doz oranında *L. minor* yapraklarında büyüme meydana gelirken Cd 0.1 mg/l Pb 4 mg/l karışımı ve Cd 0.5 mg/l Pb 4 mg/l karışımında *L. minor'* de büyüme negatif yön sergilemiş olup Pb' nin toksik etkiyi arttırıcı rol oynadığı sonucuna ulaşılmaktadır. Cd 0.5 mg/l'ten 1 mg/l'te arttırılan doz oranında toksik etki azalırken Cd 0.5 mg/l Pb 4 mg/l karımı ve Cd 1 mg/l Pb 4 mg/l karışımında toksik etkinin zayıfladığı sonucuna ulaşıyoruz. Bu durum bizlere iki farklı metalin *L. minor* üzerindeki kombine toksik etkilerinde birbirlerinin etkilerini değişen dozlarda arttırıcı veya azaltıcı olduğu sonucuna ulaştırmıştır.

7. KAYNAKLAR

- Akel, E. 2006. Kırmızı yanaklı Singapur tatlı su kaplumbağalarının (*Pseudemys scripta elegans*) akvaryum ortamında su mercimeği (*Lemna minor L.*) ile beslenme imkanları üzerine mukayeseli araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
- Alcorlo, P., Otero, M., Crehuet, M., Baltanás, A., Montes, C. 2006. The use of the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*, Girard) as indicator of the bioavailability of heavy metals in environmental monitoring in the River Guadiamar (SW, Spain). *Science of the Total Environment*, Vol:366, pp. 380–390.
- Alloway, B.J., Ayres, D.C. 1993. *Chemical principles of environmental pollution*. Blackie Academic U.K: Pp 140-149
- Aliyeva, G. 2014. Fitoremediasyon Yöntemi (Bitki) İle Sucul Sistemlerin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul
- Anonim. 2016a. <http://www.atsdr.cdc.gov/substances/html>. Erişim Tarihi: 26.09.2016
- Anonim. 2016b. <http://tr.wikipedia.org/wiki/kurşun/html>. Erişim Tarihi: 26.09.2016
- Anonim. 2016c. Guidelines for the testing of chemicals. Lemna sp. Growth Inhibition Test, Draft guideline 221.
- Antón, A., Serrano, T., Angulo, E., Ferrero, G. Rallo, A. 2000. The Use of Two Species of Crayfish as Environmental Quality Sentinels: The Relationship Between Heavy Metal Content, Cell and Tissue Biomarkers and Physicochemical Characteristics of the Environment. *The Science of the Total Environment*, Vol:247, pp. 239-251.
- Axtell, N.R., Sternberg, S.P.K., Claussen, K. 2003. Lead and Nickel Removal sing *Microspora* and *Lemna minor*. *Bioresource Technology*, Vol: 89(1), pp.41-48.
- Balcıgil, M. 2013, Nutrient and heavy metal removal from domestic wastewater by using duckweed, M.Ü Fen Bilimleri Enst. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Benaduce, A.P.S., Kochhann, D., Flores, E. M. M., Dressler, V. L., Baldisserotto, B. 2008. *Toxicity of Cadmium for Silver Catfish Rhamdia quelen (Heptapteridae) Embryos and Larvae at Different Alkalinities*, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 54 274–282.
- Conti, E.M., Cecchetti, E.M. 2003. *A biomonitoring study: Trace metals in algae and mollusks from Tyrrhenian coastal areas*, *Environ. Res.*, 93 99-112.
- Dirilgen, N. 1998. Effects of pH and Chelator EDTA on Cr Toxicity and Accumulation in *Lemna minor*. *Chemosphere*, Vol:37(4), pp.771-783.
- Dirilgen, N. 2011. Mercury and lead: assessing the toxic effects on growth and metal accumulation by *Lemna minor*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 74, 48-54.
- Doğru, M. G. 2007. Ağır Metal ve Adrenomedullin Uygulamasının Bazı Sıçan Dokularında Antioksidan Savunma Sistemi Üzerine Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya
- Ercal, N., Gurer-Orhan, H., Aykin-Burns, N. 2001. Toxic metals and oxidative stres Part I:Mechanisms involved in metal induced oxidative damage, *Curr. Top. Med. Chem.*, 1 529-539.
- Ghiani, A., Fumagalli, P., Nguyen Van, T., Gentili, R., Citterio, S. 2014. "The combined toxic and genotoxic effects of Cd and As to plant bioindicator *Trifolium repens L.*", *PLOS ONE*, 9(6), e99239.

- Gunnarsson, D., Nordberg, G., Lundgren, G., Selstam, G. 2003. *Cadmium-induced decrement of LH receptor expression and CAMP levels in the testis of rats*. Toxicology, 183 57–63.
- Horvat, T., Vidakovic-Cifrek, Z., Orescanin, V., Tkalec, M. ve Pevalek-Kozlina, B. 2007. Toxicity Assessment of Heavy Metal Mixtures by Lemna minor. Science of The Total Environment, Vol: 384,(1-3),1, pp.229-238.
- Hou, W., Chen, X., Song, G., Wang, Q., Chang, C.C. 2007. Effects of Copper and Cadmium on Heavy Metal Pollut Waterbody Restoration by Duckweed (Lemna minor). Plant Physiology and Biochemistry, Vol:45, pp.62-69.
- Hurd, N.A., Sternberg, S.P.K. 2008. Bioremoval Of Aqueous Lead Using Lemna minor. International Journal of Phytoremediation, Vol:10(4), pp.278 – 288.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A .Timur, S., 2006. TMMOB Metalürji Mühendisleri Odası, Metalürji Dergisi, Sayı 136.
- Kara, Y., Basaran D., Kara, F., Zeytunluoglu, A., Genç, H. 2003. Bioaccumulation of Nickel by Aquatic Macrophyta Lemna minor (Duckweed). International Journal Of Agriculture & Biology, 1560–8530, 05–3–281–283.
- Khellaf, N., Zerdaoui, M. 2009. Growth Response of the Duckweed Lemna minor to Heavy Metal Pollution. Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng., Vol:6(3), pp.161-166.
- Khellaf,N., Zerdaoui, M., Faure, O. Leclerc, J.C. 2010. Tolerance to Heavy Metals in the Duckweed, *Lemna minor*. Ecotoxicology, 19,1363–1368.
- Megateli, S., Semsari, S., Couderchet, M., 2009. Toxicity and removal of heavy metals (cadmium, copper, and zinc) by Lemna gibba. Ecotox. Environ. Saf. 72, pp. 1774-1780.
- Miretzky, P., Saralegui, A., Cirelli, A.F. 2004. Aquatic Macrophytes Potential for the Simultaneous Removal of Heavy Metals (Buenos Aires, Argentina). Chemosphere, Vol:57, pp. 997–1005.
- Mudgal, V., Madaan, N., Mudgal, A., Singh, R.B., Mishra, S. 2010. “Effect of Toxic Metals on Human Health”, The Open Nutraceuticals Journal, 3: 94-99.
- Naumann B., Eberius M., Appenroth K-J. 2007. Growth rate based dose–response relationships and EC-values of ten heavy metals using the duckweed growth inhibition test (ISO 20079) with *Lemna minor* L. clone St. J Plant Physiol 164:1656–1664
- Paustenbach, D.J. 2000. The Practice of Exposure Assessment: A State-of-the-art Review. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part b, 3(3), pp.179-291
- Piston, G., Allinson, G., Stagnitti, F., Colville, S. 1999. Effect of Selenium on the Growth of Lemna minor. Toxicological & Environmental Chemistry, Vol:71(3 & 4), 271 – 277.
- Prasad, M.N.V., Malec, P., Waloszek, A., Bojko, M. and Strzałka, K. 2001. Physiological Responses of Lemna trisulca L. (duckweed) to Cadmium and Copper Bioaccumulation. Plan Science, Vol:161(5), 881-889.
- Rahman M. A., Hasegawa H. 2011. Chemosphere, 83, p. 633-46
- Saygıdeğer, S., 1996. *Lemna gibba* L. ve *Lemna minor* L. (Lemnaceae)’nin Morfolojik Anatomik Ekolojik ve Fizyolojik Özellikleri, Ekoloji Dergisi, 18, 8-11 s.
- Silva, A. O. F. D. ve Martinez, C. B. R. 2014. "Acute effects of cadmium on osmoregulation of the freshwater teleost Prochilodus lineatus: Enzymes activity and plasma ions", Aquatic Toxicology, 156, 161-168.

SPSS Statistics Data Editor 21.0 License Authorization Wizard
([http://cs.its.uiowa.edu/software/documents/SPSS21.0 Macintosh Site License InstallationInstructions.pdf](http://cs.its.uiowa.edu/software/documents/SPSS21.0_Macintosh_Site_License_InstallationInstructions.pdf))

Şişek, D. 2012. Su mercimeği bitkisinin su kalitesini araştırmada kullanılabilirliği D.Ü. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi. Kütahya.

Uysal Y. Taner F, 2007. The Effect of Cadmium Ions on the Growth Rate of the Freshwater Macrophyte Duckweed Lemna minor. *Ekoloji* 16 (62): 9-15.

Uysal, Y. ve Taner, F. 2009. Effect of Ph, Temperature, and Lead Concentration on The Bioremoval of Lead From Water Using Lemna Minor. *International Journal of Phytoremediation*, Vol:11,pp. 591–608.

Üçüncü, E. 2011. Su mercimeği kullanarak farklı konsantrasyonlardaki ağır metal karışımlarının laboratuvar ortamında biyoremediasyonu. A.Ü. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi. Ankara.

Üçüncü, E., Tunca, E., Fikirdeşici, S., Ozkan, A.D. Altındağ, A. (2013) Phytoremediation of Cu, Cr and Pb Mixtures by Lemna minor. *Bull. Environ. Contom. Toxicol.*, 91, 600-604

Wang, Q., Cui, Y., Dong, Y. 2002. Phytoremediation of Polluted Waters Potentials and Prospects of Wetland Plants. *Acta Biotechnologica*, Vol:22(1-2), pp.199 –208.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	:	Ufuk BURAK
Doğum Yeri	:	İdil
Doğum Tarihi	:	17.02.1986
Yabancı Dili	:	İngilizce
E-mail	:	ufukburak.ub@gmail.com
İletişim Bilgileri	:	+90 507 842 34 01

Öğrenim Durumu :

Derece	Bölüm/ Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği	Karadeniz Teknik Üniversitesi	2009
Y. Lisans	Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği	Ordu Üniversitesi	

İş Deneyimi:

Görev	Görev Yeri	Yıl
Mühendis	Torul Gıda Tarım ve Hayvancılık İlçe Müdürlüğü	2013

Yayınlar :

- 1.
- 2.