T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÖPRÜBAŞI (MANİSA) URANYUM YATAĞI ÇEVRESİNDE TOPRAK, SU VE BİTKİ ÖRNEKLERİNDE URANYUM DÜZEYLERİ VE OLASI ÇEVRESEL ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Özlem ŞEN

Tez Yöneticisi
Prof.Dr. Ahmet ŞAŞMAZ

DOKTORA TEZİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ

2009

T.C.

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÖPRÜBAŞI (MANİSA) URANYUM YATAĞI ÇEVRESİNDE TOPRAK, SU VE BİTKİ ÖRNEKLERİNDE URANYUM DÜZEYLERİ VE OLASI ÇEVRESEL ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Özlem ŞEN

DOKTORA TEZİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez … / …/ 2009 tarihinde, aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile başarılı/başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ahmet ŞAŞMAZ
Üye: Prof.Dr. Ahmet SAĞIROĞLU
Üye: Prof. Dr. Mehmet YAMAN

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü yönetim Kurulu'nun ……/……/…… tarih ve …… sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

"Köprübaşı (Manisa) uranyum yatağı çevresinde toprak, su ve bitki örneklerinde uranyum düzeyleri ve olası çevresel etkilerinin belirlenmesi " konulu bu çalışma Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında 2007-2009 yılları arasında doktora tez çalışması olarak hazırlanmıştır.

Çalışmanın her aşamasında değerli katkı ve önerileri ile beni yönlendiren hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet ŞAŞMAZ' a içtenlikle teşekkür ederim.

Ayrıca bitki örneklerinin sistematiğinin yapılmasında yardımcı olan Sayın Prof. Dr. Şemsettin CİVELEK'e, bu tezin hazırlanması aşamasında arazi ve büro çalışmalarımdaki yardımlarından dolayı Jeoloji Mühendisi Belgin AYDIN'a, Jeoloji Yüksek Mühendisi Güllü KIRAT'a ve Köprübaşı (Manisa) İlçesi kaymakamı Sayın Muhammet GÜRBÜZ'e teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışma TUBİTAK 107Y226 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı başta ÇAYDAG olmak üzere, tüm TUBİTAK çalışanlarına teşekkür ederim.

Çalışmanın her aşamasında manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürler…

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR
İÇİNDEKİLER……..... I

ŞEKİLLER LİSTESİ……. III

TABLOLAR LİSTESİ ……..... VI

ÖZET…….....VII

ABSTRACT……....IX

1.GİRİŞ…….....1

2. GENEL BİLGİLER …….....3

2.1.Coğrafik Durum …….....3

2.2. Önceki Çalışmalar 3

2.3. Bölgenin Jeolojisi 8

2.4. Cevherleşmeler…….....12

2.5. Biyojeokimya …….....17

2.5.1.Metallerin bitki tarafından alınması 18

2.5.1.1. Bitki beslenmesi 18

2.5.1.2. Topraktaki elementlerin bitkilere geçişi ……18

2.5.1.3. Bitki köklerinde reaksiyonlar ve depolanma ……19

2.5.2. Jeokimyasal ve biyojeokimyasal anomaliler ……..20

2.5.3. Biyojeokimyasal ölçüm tekniklerin……21

2.5.3.1. Hazırlık ve ön çalışma ……21

2.5.3.2. Örneklerin kimyasal analize hazırlanması ……21

3. MATERYAL VE METOT 23

3.1. Toprak örnekleri ……23

3.2. Bitki örnekleri ……24

3.3. Su Örnekleri ……25

4. BULGULAR VE TARTIŞMA 26

4.1. Toprakta Uranyum …….…… 28

4. 2. Bitkide Uranyum …… 34

4.3. Suda Uranyum …… 73

5. SONUÇLAR 78

6. KAYNAKLAR.....82

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Çalışma alanı lokasyon haritası…… 4

Şekil 2.2. Kasar Bölgesi'ne ait eski işletme alanları…….……6

Şekil 2.3. Taşharman bölgesinde çok sayıda açılmış kuyulardan iki tanesi…… 6

Şekil 2.4. Çalışma alanı jeoloji haritası ……9

Şekil 2.5. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti ……10

Şekil 2.6. Beynamaz'da metamorfik kayaçlar içerisinde gözlenen gözlü gnayslar……11

Şekil 2.7. Tüllüce Tepe'deki Neojen yaşlı ince tabakalanma gösteren marn ve killi birimler.....11

Şekil 2.8. Türkiye uranyum ve toryum oluşumlarının dağılımı ……12

Şekil 2.9. Demirci-Köprübaşı havzasının yapısal haritası ……...……13

Şekil 2.10. Kasar uranyum yatağının genelleştirilmiş kesiti ……15

Şekil 2.11. Ecinlitaş uranyum yatağının genelleştirilmiş kesiti ……15

Şekil 4.1. Köprübaşı uranyum yatağı çevresindeki topraklardaki uranyum dağılımı… 31

Şekil 4.2. Çalışma alanındaki toprak ve bitki kökü arasındaki uranyum korelasyonu…33

Şekil 4.3. Çalışma alanındaki toprak ve bitki dalı arasındaki uranyum korelasyonu…..33

Şekil 4.4. *Quercus robur*'un dal, yaprak ve kozalağının yakından görünüşü ……35

Şekil. 4.5. *Quercus robur*'un toprağı ile bitki kısımları arasındaki uranyum dağılımı 36

Şekil 4.6. *Olea europaea'* in dal, yaprak ve zeytinin yakından görünüşü ……37

Şekil 4.7. *Olea europaea'* in toprağı ile bitki kısımları arasındaki uranyum dağılımı…37

Şekil 4.8. *Pistacia lentiscus* ağacının yakından görünüşü ……38

Şekil 4.9. *Pistacia lentiscus*' un toprak, kök ve daldaki uranyum değerleri ……39

Şekil 4.10. *Anchusa*' nın yakından ve uzaktan görünüşü ….……40

Şekil 4.11. *Anchusa*' nın toprak, kök ve dalındaki uranyum değerleri ……40

Şekil 4.12. *Alcea'* nın yakından görünüşü ……41

Şekil 4.13. *Triticum sativum'* un yakından görünüşü ……42

Şekil 4.14. *Hordeum vulgare*'un yakından görünüşü ……43

Şekil 4.15. *Hordeum vulgare'* un toprak, kök ve dalındaki uranyum değerleri ……44

Şekil 4.16. *Asteraceae*'nın arazide yakından görünüşü ……45

Şekil 4.17. *Asteraceae*'nın un toprak, kök ve dalındaki uranyum dağılımı……45

Şekil 4.18. *B. nigra*'nın arazide yakından görünüşü ……47

Şekil 4.19. *B. nigra*'nın toprak, kök ve dallarındaki uranyum dağılımı ……47

Şekil 4.20. *Cistus creticus*'un arazide yakından görünüşü ……48

Şekil 4.21. *Asphodelus aestivus*'un arazide yakından görünüşü …… 49

Şekil 4.22. *Asphodelus aestivus*'un toprak, kök ve gövdesindeki uranyum dağılımı …50

Şekil 4.23. *Fragaria vesca' nın* araziden görünüşü ……51

Şekil 4.24. *Fragaria vesca' nın* toprak, kök ve gövdesindeki uranyum dağılımı ……51

Şekil 4.25. Fabaceae*' nın* araziden görünüşü ……52

Şekil 4.26. Fabacea'*nın* toprak, kök ve gövdesindeki uranyum dağılımı ……53

Şekil 4.27. *Capsicum annuum* 'un araziden görünüşü……54

Şekil 4.28. *Capsicum annuum* 'un toprak, kök, gövde ve tohumundaki uranyumun dağılımı ……..…… 55

Şekil 4.29. *Papaver rhoeas*' in arazideki görünümü …… 56

Şekil 4.30. *Papaver somniferum'* un tarladaki görünümü …… 57

Şekil 4.31. *P. somniferum'* 'un toprak, kök, gövde ve tohumundaki uranyumun dağılımı …… 57

Şekil 4.32. *Urtica* 'nın yakından görünüşü …… 58

Şekil 4.33. *Urtica* 'nın toprak, kök ve gövdesindeki uranyumun dağılımı ……... 59

Şekil 4.34. *Phragmites australis'* in yakından görünüşü …… 60

Şekil 4.35. *Phragmites australis'* in toprak, kök ve gövdesindeki uranyumun dağılımı60

Şekil 4.36. *Astragalus*'un yakından görünüşü ……61

Şekil 4.37. *Astragalus*'un. toprak, kök ve dallarındaki uranyum dağılımı ……62

Şekil 4.38. *Onopordon bracteatum* dikenin yakından görünüşü ……63

Şekil 4.39. *Onopordon bracteatum* dikenin toprak, kök ve dallarındaki uranyum dağılımı…….....……63

Şekil 4.40. *Anthemis*'in yakından görünüşü …….....……64

Şekil 4.41. *Anthemis*'in toprak, kök ve dallarındaki uranyum dağılımı ……65

Şekil 4.42. *Portulaca oleraceae*' nin yakından görünüşü ……66

Şekil 4.43. *Verbascum'*un arazide yakından görünüşü……67

Şekil 4.44. *Verbascum'*un toprak, kök ve dallarındaki uranyum değişimi…… 68

Şekil 4.45. *Trifolium arvense*'nin yakından görünüşü……69

Şekil 4.46. *Trifolium arvense*'nin toprak, kök ve dallarındaki uranyum değişimleri …69

Şekil 4.47. *N. Tabacum* 'uin yakından görünüşü……70

Şekil 4.48. *Teucrium polium*' un yakından görünüşü…… 71

Şekil 4.49. *A. cepa* ve *A. sativum*' un yakından görünüşü …… 72

Şekil 4.50. *A. cepa* ve *A. sativum*' un toprak, kök ve dallarındaki uranyum değişimi 73

Şekil 4.51: Çalışma alanı su örneği alım noktaları ve uranyum seviyeleri ……77

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. ICP- MS cihazının teknik özellikleri…….....23
Tablo 4.1. Çalışma alanında uranyum ile diğer elementler arasındaki korelasyon ilişkileri .....……32

ÖZET

Doktora Tezi

KÖPRÜBAŞI (MANİSA) URANYUM YATAĞI ÇEVRESİNDE TOPRAK, SU VE BİTKİ ÖRNEKLERİNDE URANYUM DÜZEYLERİ VE OLASI ÇEVRESEL ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Özlem ŞEN

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

2009, Sayfa: 86

Köprübaşı (Manisa) uranyum yatağı, Türkiye'nin en önemli uranyum yataklarından birisidir ve Neojen yaşlı kayaçlar içerisindeki nehir çökelleri içerisinde yer alırlar. Yöredeki yataklar, mineralojik olarak oksitli ve oksitsiz cevher olmak üzere iki türde oluşmuştur. Oksitli yataklar ikincil jarosit-vaylandit ve manyetit-ilmenit, oksitsiz yataklar ise pirit ve siderit tipindedirler. Uranyumca zengin jarosit-vaylandit mineralleri, çökel kayaların epijenetik hamuru içinde, kum ve çakıllar arasında bulunurlar. Yöredeki yataklar % 0.05-0.40 U_3O_8 tenörlü ve 2852 ton rezerve sahip olup, 1970'li yıllarda bir süre işletilmiş daha sonra terk edilmiştir.

Köprübaşı uranyum yatağı ve yakın çevresi, hem doğal, hem de yapılan madencilik çalışmalarından dolayı bölge uranyum tarafından kirletilmiştir. Bu kirlenmeden, bölgedeki topraklar, yetişen bitkiler ve su kaynakları oldukça fazla etkilenmiştir. Yöre topraklarının ortalama uranyum içeriği birkaç ppm'den 3876 ppm'e kadar değişmektedir. Gölsel çökellerin uranyum içeriği çok düşük olup, en fazla birkaç ppm'dir. Akarsu çökellerinin belli seviyelerinde ise uranyum içeriği çok yüksektir. Cevherleşmelerde uranyum, bakır (0.94) ve kurşun (0.81) ile kuvvetli pozitif, arsen (0.19), kadmiyum (0.20) , talyum (0.28), ve selenyum (0.29) ile zayıf pozitif korelasyonlar gösterirken, toryum ile herhangi bir korelasyon ilişkisi göstermemektedir. Bölgeden alınan çok sayıda bitkinin

değişik kısımlarının uranyum analizleri yapılmıştır. Topraktaki uranyum miktarının çokluğuna bağlı olarak, bitkiler de doğrusal oranda bünyelerine uranyum almışlardır. Bu bitkiler içerisinde hiperakümülatör özellik taşıyan bitkiye rastlanmamıştır. Sadece *Capsicum annium*' un kökü toprağına göre 4.44 defa daha fazla uranyum toplamıştır. Ayrıca bazı örneklerde, *Quercus robur*, *Olea europeae* ve *Astragalus*'un dalları köklerine göre daha fazla uranyum içermektedir. Bu da bu bitkilerin köklerindeki uranyumu dallara daha fazla transfer edebilme yeteneklerine sahip olduğunu göstermektedir. *Verbascum* ise bünyesinde 1000 ppm'den daha fazla uranyumu depolama yeteneğine sahiptir. Böyle bitkileri biomonitoring amaçlı kullanmak mümkündür. Köprübaşı uranyum yatağı çevresindeki su kaynaklarından çok sayıda su örneği alınarak, ICP-MS'de analiz edilmiştir. Özellikle uranyum yatağının bulunduğu alan ve çevrelerden beslenen suların, uranyum açısından WHO kriterlerine göre en az on kat daha fazla kirlendiği saptanmıştır. Bu suların, yöredeki insan ve hayvanlar tarafından içilmesi, sulama amaçlı kullanılması, daha alt kotlardaki su kaynaklarını kirletmesi, çevre sağlığı açısından önemli riskler oluşturmaktadır.

Anahtar kelimeler: Köprübaşı, uranyum, toprak, bitki, su, kirlilik

ABSTRACT

Ph.D Thesis

THE DETERMINATION OF URANIUM LEVELS IN SOIL, WATER AND PLANT SAMPLES AROUND KÖPRÜBAŞI (MANİSA) URANIUM DEPOSIT AND THEIR PROBABLE EFFECTS ON THE ENVIRONMENT

Özlem ŞEN

Fırat University

Graduate School of Science and Technology

Department of Geological Engineering

2009, Page: 86

The Köprübaşı (Manisa) uranium deposits which is located in the Neogene river sediments is one of the most important uranium deposits in Turkey. Uranium in the region occurs in two types as mineralogically oxidized and unoxidized ores. The oxidized ones occur in the type of secondary jarosit-vailandite and manyetite-ilmenite, whereas unoxidized ones occur in pyrite and siderite. The jarosit-vailandite minerals which are rich in uranium are available in the soils and gravels placed inside the epigenetic matrix of sedimentary rocks. The beds in the region having 2852 tones reserves and % 0.05-0.40 U_3O_8 grade were operated until 1970s and then abandoned.

Köprübaşı uranium accumulations and their surroundings are polluted with uranium naturally and because of mining operations. The plants, soils and water sources in the region are affected by this pollution. The uranium contents of the soils in the range of a few ppm and 3876 ppm; While the lake sediments contain very low, -the upper limit is about a few ppm and on the other hand, in some levels of river sediments are very high uranium. In mineralizations uranium has strong positive correlations with copper (0.94) and lead (0.81) and weak positive correlations with thallium (0.28), cadmium (0.20) and selenium (0.29), it has no correlation with thorium.

Ddifferent parts of many plants samples collected around the region was analyzed for U contents. The analysis proved that the amounts of the U intaken by plant organs are related to the U contents of soils where the plants grow. Among those plant samples, no plant with hyperaccumulator characteristics was discovered. The *Capsicum annium* which accumulate uranium 4.44 times higher than found in its soil is an exception. On the other hand, in some samples such as *Quercus robur*, *Olea europeae* and *Astragalus* , the shoots accumulate more uranium than their roots. This shows that such plants are capable of transferring the uranium in their roots to their branches. Among the sample plants, it was also observed that *Verbascum* can accumulate more than 1000 ppm uranium which meansthat it can be used for biomonitoring. In this study, water samples collected from the region were also analyzed by using ICP-MS. It was detected that the waters around the regions which are rich in uranium included ten times uranium higher than the standards reported by WHO. Such an outcome prove evidence that the water in the region can threat the ecological life when it is used as drinking or irrigation water. Moreover the polluted water may affected negatively the water sources in lower altitudes.

Key words: Köprübaşı, uranium, soil, plant, water, pollution.

1. GİRİŞ

"Köprübaşı (Salihli-Manisa) uranyum yatağı çevresinde toprak, su ve bitki örneklerinde uranyum düzeyleri ve olası çevresel etkilerinin belirlenmesi" konulu bu çalışma Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde 2007–2008 yılları arasında gerçekleştirilmiştir.

Nükleer enerji, özellikle 20 yüzyılın ortalarından sonra en önemli alternatif enerji kaynaklarından birisi olmuştur. Bilindiği gibi bu enerjinin en önemli hammaddesi uranyum ve toryumdur. Uranyum, üst kıtasal kabukta ortalama olarak 2.5 ppm ve toryum ise 10.3 ppm yer almaktadır (Wedepohl, 1995). Dolayısıyla, 1950 li yıllardan sonra tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de uranyum ve toryumun aranmasına yönelik çalışmalar hız kazanmıştır ve bu çalışmaların sonucunda; Türkiye'de olası uranyum bulunabilecek potansiyel alanlar saptanmıştır. Bu alanlardan bir tanesi de Köprübaşı uranyum yatağıdır.

Bu çalışmanın amacı; belli bir dönem içerisinde işletilmiş ve daha sonra terk edilmiş durumda olan Köprübaşı uranyum yatağı çevresindeki kirlenmenin boyutlarının saptanmasıdır. Yöredeki yataklar üzerinde 1970 ve 1980 yılları arasında Etibank tarafından tesis kurularak, leaching yöntemi ile kayaçlar içerisindeki uranyumun kazanılması yoluna gidilmiştir. Yöredeki uranyum yataklarından ilk üretim 17 Ocak 1975'de yapılmıştır. Bu tarihte ilk ''Sarı Pasta'' üretilmiş ancak daha sonra ise bu tesislerden sarı pasta üretimi durdurulmuş ve söz konusu bu tesis terk edilmiş şekilde bırakılmıştır.

Bu tez kapsamında Köprübaşı uranyum yatağı ve çevresinde toprak, bitki ve sulardaki uranyum kirlilik potansiyeli incelenmiştir. Bu amaçla, bazı bitki türlerinin farklı metaller için indikatör bitki olabileceği düşüncesiyle, yörede yetişen bitkiler ve beslenmiş olduğu topraklardan örnekler alınıp analiz edilmiştir. Bu sayede uranyumun topraktaki ve bitkideki oranları kıyaslanarak, bitkilerin farklı elementleri alım kapasite ve toleransları ortaya

konmuştur. Benzer şekilde yöredeki kaynak ve dere sularından su örnekleri alınarak analiz edilmiş ve içindeki metallerin değişimleri incelenmiştir. Ayrıca bu projeden elde edilen tüm bulgular, çevre ve halk sağlığı açısından değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Coğrafik Durum

Çalışma sahası, Manisa'nın yaklaşık 120 km doğusunda, Köprübaşı ilçesinin kuzey ve doğusunda, 1/25.000 ölçekli İzmir K 20 b3 ve K 20 b4 ile K 21 a3 ve a4 paftaları içerisinde yer almaktadır (Şekil 2.1.). Yöre oldukça engebeli bir topografya ya sahiptir ve 250 ile 750 metre arasında rakımlara sahip pek çok yükseltiler bulunmaktadır. Bölgenin en önemli akarsuları ise Demirköprü Barajı 'nın ana kolları olan Gediz ve Demirci çaylarıdır. Ayrıca bu ana akarsuların yanında bu akarsulara dökülen pek çok irili ufaklı dereler gözlenmektedir. Yıllık ortalama yağış miktarı 570-640 mm arasında değişmekte olup alt bölgeler arasında belirgin bir farklılık görülmemektedir. İlin 36 yıllık (1966-2001) ortalama sıcaklığı Şubat ayında 6.7 ^{o}C Temmuz ayında ise 26.7 ^{o}C olarak tespit edilmiştir. Ortalama nispi nem % 58 civarındadır. Bölgede Akdeniz iklimi hüküm sürer. Kışlar kısa, ılık ve yağışlıdır. İlçe nüfusunun başlıca gelir kaynaklarını tütün, çilek, zeytin, pamuk, arpa ve buğday gibi tarım ürünleri oluşturmaktadır. Arazinin dağlık oluşu hayvancılığın gelişimini engellemiştir. Yörede sığır, koyun ve daha çok ise keçi yetiştirilmektedir.

2. 2. Önceki Çalışmalar

Köprübaşı uranyum yatağı ve bölgenin jeolojisini incelemek amacıyla pek çok çalışma yapılmıştır. Yöredeki uranyum yatakları üzerine ilk çalışmalar MTA tarafından 1961 yılında başlamış, 1974 yılına kadar devam etmiştir. Bölgede havadan uçakla prospeksiyon, arazide genel, detay, sistematik prospeksiyon, farklı ölçeklerde harita çalışmaları, yarma, kuyu, galeri ve sondaj çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda bölgede Kasar, Taşharman, Kocadüz, Çetinbaş, Topallı, Yardere, Kayran, Tomaşa, Kocaboğaz ve Topallı uranyum yatakları bulunmuştur. Uranyumu konu alan ilk çalışma, MTA Enstitüsünün koordinatörlüğünde Schuiling (1961) tarafından gerçekleştirilmiş ve uçaktan elde edilen anomalilerin bulunduğu alanlara ilişkin çalışmalar yapılmıştır. Daha sonraki yıllarda MTA

tarafından çok sayıda rapor düzeyde çalışma hazırlanmıştır (Ayışkan, 1972a,b; Sadık, 1973; MTA, 1976; MTA, 1978; MTA, 1986). Bu çalışmalar daha çok yöredeki uranyum yataklarına

Şekil 2.1. Çalışma alanı lokasyon haritası.

ilişkin rezervi ortaya koymak amacı ile yapılan sondaj çalışmaları ve bunların kimyası ile ilgili çalışmalardır. Ayrıca, yörede farklı oluşumlara sahip uranyum oluşumlarının nasıl kazanılabileceğine yönelik teknolojik ve deneysel ağırlıklı çalışmalardır. Bu çalışmalar sonucunda uranyumdan sarı pasta elde edebilmek için Köprübaşı ilçesinde pilot bir tesis de kurulmuş, bir miktar sarı pasta elde edilmiş ancak daha sonra üretim durmuştur. Sözkonusu tesis hâlihazırda bakımsız halde yıkıma terk edilmiştir. İşletme amacıyla bu pilot tesise yöredeki yataklardan cevher getirilmiştir. Cevher getirilen alanlar daha çok Kasar (Şekil 2.2.) ve Taşharman bölgelerine aittir. Bu bölgelerde derinlikleri yer yer 15-20 m. ye varan kare şekilli arama kuyuları açılmıştır. Bu kuyular hâlihazırda açıldığı şekliyle durmaktadır ve bunların ağızları açık ve herhangi bir koruması da bulunmamaktadır (Şekil 2.3.). Bu hali ile

kuyular yöre halkı ve yörede yaşayan yabani hayvanlar için tehdit oluşturmakta ve her an bu kuyulara düşme riski taşımaktadırlar. Ayrıca madencilik çalışmaları yapılan bölge ve alanlar, üzerinde herhangi bir iyileştirme çalışmaları yapılmadan olduğu gibi terk edilmiştir. Böyle alanlarda uranyum, hem kısa, hem de uzun dönemde içerisinde, hem yüzey, hem de yer altı suları tarafından sürekli yıkanarak yöredeki toprak, su ve bitki örtüsünün kirlenmesine neden olmaktadır. Bu alanlar mevcut haliyle bırakıldığı takdirde yüzyıllarca devam edecek bir kirlilik kaynağı olarak kalacaktır. Böyle alanların zaman geçirilmeden kirlilik kaynağı olmaktan çıkartılıp, çevreye zararsız hale gelecek şekilde iyileştirilmesi gerekmektedir. Benzer şekilde yöredeki eski işletmeler, yarma ve kuyular kendi kaderine bırakılmış ve çirkin bir görüntü oluşturmuştur. Bu görüntüler, modernleşmeye çalışan veya olmak için uğraş veren bir ülke ile özdeşleşmemektedir. Bu amaçla böyle alanların saptanıp, bir an önce iyileştirme çalışmalarının başlatılması gerekmektedir.

Bölgede MTA dışında, pek çok akademik amaçlı çalışmalar da yapılmıştır. Bu çalışmaların ilki Yılmaz (1979, 1982) tarafından gerçekleştirilmiştir. Yazar, yörede Neojen sedimanter kayaçları içerisinde gözlenen uranyum yataklarının oksitsiz ve oksitli olmak üzere iki farklı tipte oluştuğunu belirterek, bu yatakların oluştuğu jeolojik birimlerin özelliklerini, uranyum yataklarının mineralojisi, jeokimyası ve kökeni ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Ayrıca bölgedeki uranyum yataklarının kaynak kayacının metamorfik kayaçlar ve tüfler olduğunu ve yöredeki yatakların ortalama cevher tenörünün % 0.03-0.06 U_3O_8 arasında değiştiğini belirtmiştir.

Şekil 2.2. Kasar Bölgesi'ne ait eski işletme alanları.

Şekil 2.3. Taşharman bölgesinde çok sayıda açılmış kuyulardan iki tanesi.

Kaçmaz (2007) Kasar, Ecinlitaş, Çetinbaş, Topallı, Uğurlu ve Kayran sektörlerindeki uranyum oluşumlarını incelemiştir. Bu oluşumların kumtaşı ve konglomeralar içerisinde oluştuğunu belirterek, yataklarda başlıca torbernit, meta-torbernit ve meta-otünit gibi uranyum mineralleri ile birlikte jarosit ve klorit gibi alterasyon minerallerini saptamıştır. Ayrıca, uranyum tenörünün % 0.01-0.40 U_3O_8 arasında değiştiğini belirtmiş ve yer yer bu tenörün demirce zengin sedimentlerde % 1.06 ya kadar çıktığını belirtmiştir. Bu durumu ise, demir oksitlerin ikincil uranyum fosfatların çökeliminde önemli rol oynaması nedeniyle oluştuğunu söylemiştir. Ayrıca yöredeki yeraltı sularındaki uranyum içeriğinin 1.71-23.97 ppb arasında değiştiğini saptamıştır. Bu düşük uranyum konsantrasyonlarını ise, oksitli akifer kayacı içerisindeki uranyum fosfat minerallerinin nötre yakın koşullardaki düşük çözünürlüğüne bağlamıştır.

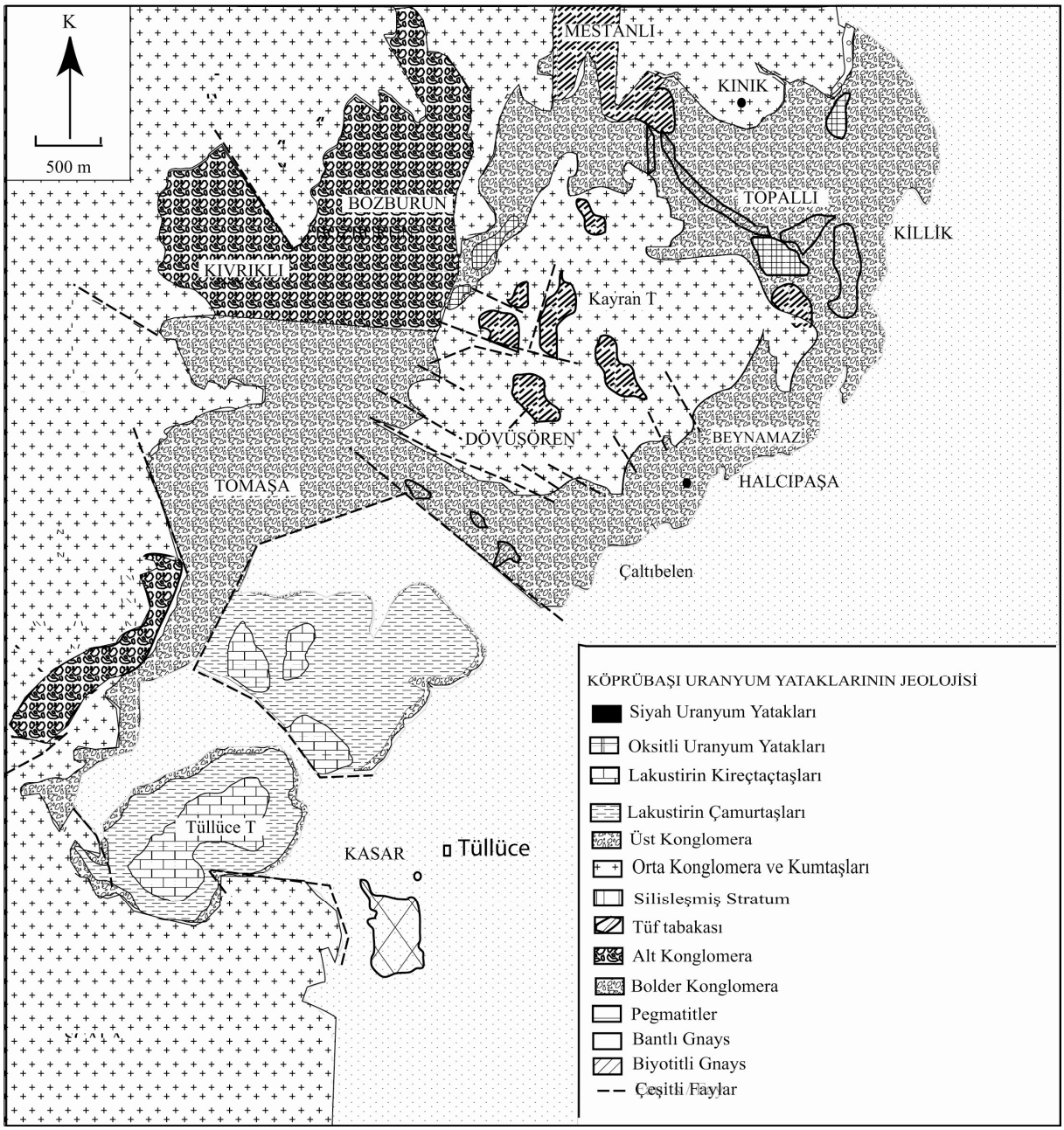
Şimsek (2008), yöredeki uranyum yatakları çevresinde bulunan yeraltı suyu akiferlerindeki doğal radyoaktivite (^{226}Ra, ^{232}Th ve ^{40}K) değerlerini incelemiş, dünyadaki diğer bölgelerle karşılaştırmış ve tüm örneklerin ^{226}Ra ve ^{40}K değerlerinin dünya ortalama seviyesinden daha yüksek olduğunu belirtmiştir. Buna göre yazar, ^{226}Ra, ^{232}Th ve ^{40}K değerlerini sırası ile uranyum cevherlerinde 5369.75, 124.78 ve 10.0 Bq/kg; gnayslarda 24.32, 52.94 ve 623.38 Bq/kg; kumtaşı ve konglomeralarda 46.24, 45.13 ve 762.26 Bq/kg; sedimentlerde 73.11, 43.15 ve 810.65 Bq/kg olarak saptamıştır. Bölgedeki kayaç ve sedimentlerin doğal radyoaktivite seviyeleri, bunların zirai alanlarda ve inşaat alanlarında kullanmasını uygunsuz hale getirmektedir. Yöredeki yüzey ve yeraltı suları yüksek ^{226}Ra değerlerine sahiptir. Bu yüzden yazar, hem Köprübaşı uranyum sahalarında hem de çevresinde mutlaka çevre koruma çalışmalarının yapılması gerektiğini açıklamıştır.

Şaşmaz ve Yaman (2008), Keban (Elazığ) Pb-Zn maden sahası üzerinde doğal olarak yetişmiş bazı bitkilerin toprağı, kök ve dallarındaki uranyum değişimi incelenmiştir. Buna göre yöredeki toprak ve bitkiler toplanarak ICP-MS'de analiz edilerek değişimler

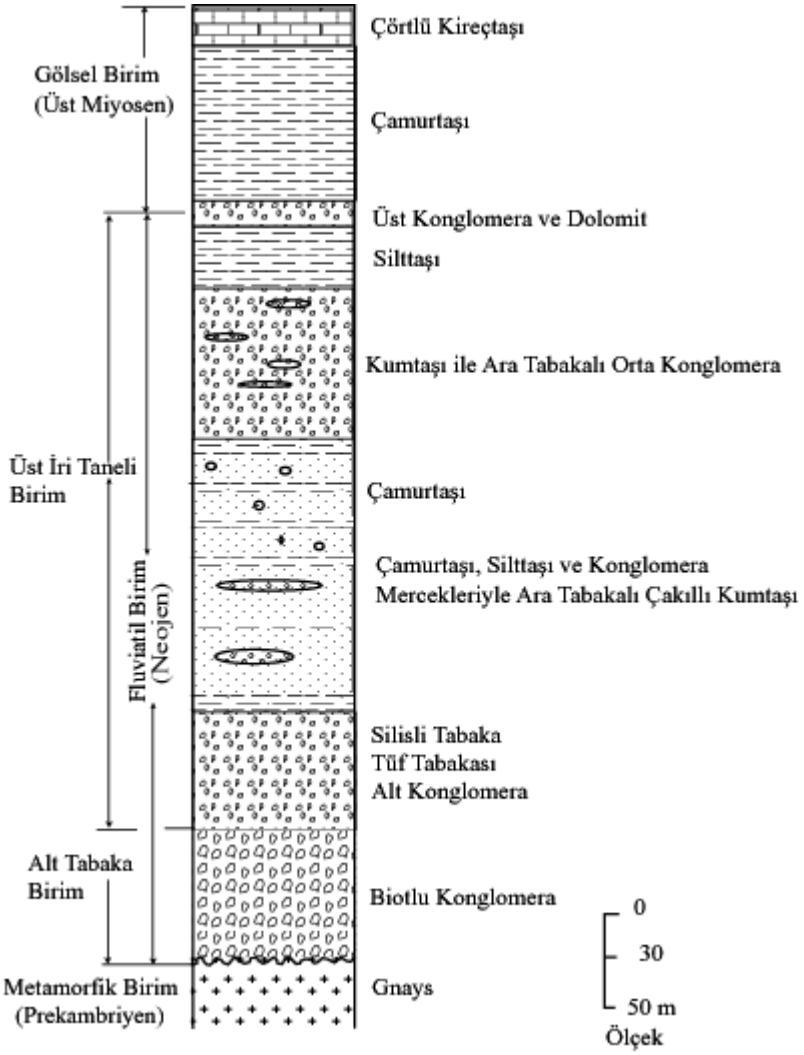
incelenmiştir. Buna göre Keban yöresinde yetişen *Euphorbia*, *Verbascum* ve *Astragalus*' un dallarının içermiş olduğu yüksek orandaki U ve Th 'dan dolayı, bu bitkilerin uranyum ve toryum için hiperakümülatör bitkiler olabileceğini öne sürmüşlerdir.

2.3. Bölgenin Jeolojisi

Köprübaşı (Manisa) uranyum yatağı çevresinde iki farklı birim yüzeylemektedir. Bunlar Prekambriyen yaşlı Metamorfik Kayaçlar ile Neojen yaşlı akarsu ve göl çökelleridir (Şekil 2.4. ve 2.5.). Çalışma alanının temelini oluşturan Prekambriyen yaşlı metamorfik seri, üzerini örten seriler içindeki derin vadilerde küçük mostralar vermektedir (Şekil 2.6.). Menderes Masifi'ne ait olan bu seri bantlı ve biyotit gnays ile bunların içerdikleri pegmatit ve kuvarsit damarlarından oluşmuştur. Bantlı gnayslar orta-iri ve çok iri taneli olup, baskın olarak plajiyoklas, kuvars, muskovit, K-feldispat ve az oranda granat içerir. Biyotit gnayslar ise ince-orta taneli olup, plajiyoklas, kuvars, muskovit, biyotit, K-feldispat ve granatla birlikte az miktarda disten içerir. Metamorfik temel kayalar üzerinde uyumsuz olarak Neojen yaşlı akarsu ve göl çökelleri görülür. Akarsu çökelleri (fluvial birim) konglomeralar ve kumtaşları ile bunların içerisindeki ince çamur, silt, kil ara tabaka ve merceklerinden oluşmuştur (Şekil 2.7.). Bazı alanlarda tüflerin ve silisleşmiş tabakaların akarsu çökelleri ile ardalanması gözlenir. Gölsel birimler en üstte olup, bu birimler tabanda çamur taşları ile başlar, yukarıya doğru beyaz ve yeşil renkli kil katmanları ile devam eder ve en üstte kireçtaşları ile son bulur (Şekil 2.4. ve 2.5.) (Kaçmaz, 2007).



Şekil 2.4. Çalışma alanı jeoloji haritası (Yılmaz, 1982'den değiştirilerek).



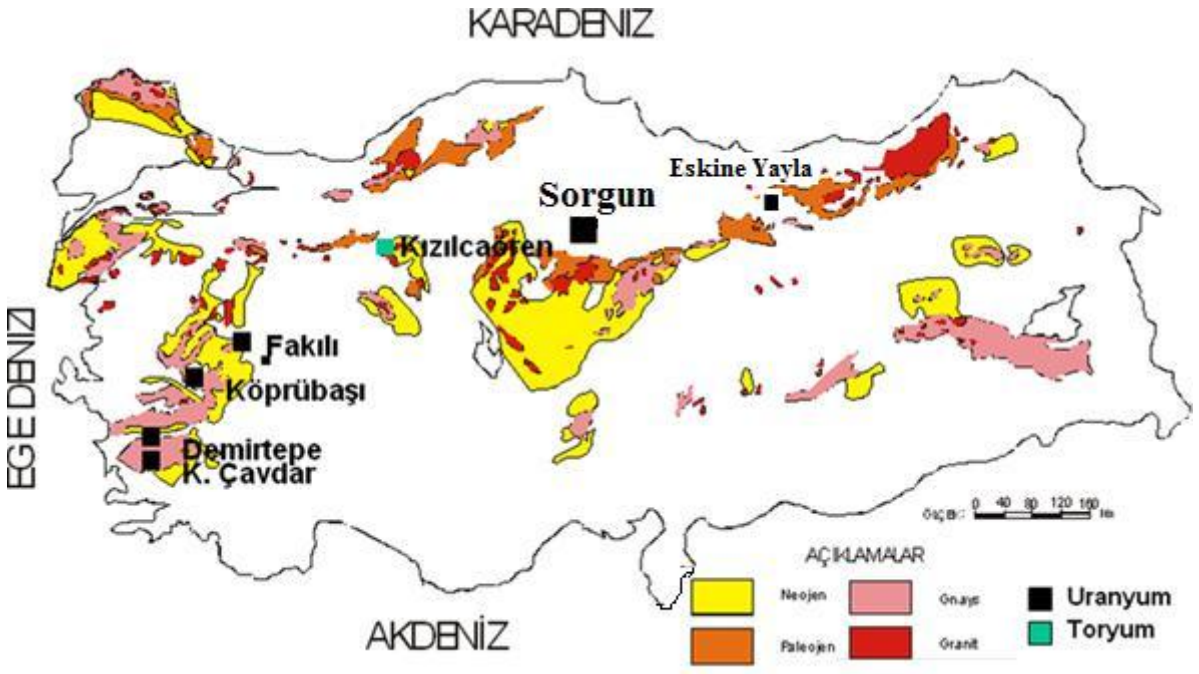
Şekil 2.5. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Yılmaz, 1982'den değiştirilerek).

Şekil 2.6. Beynamaz'da metamorfik kayaçlar içerisinde gözlenen gözlü gnayslar.

Şekil 2.7. Tüllüce Tepe'deki Neojen yaşlı ince tabakalanma gösteren marn ve killi birimler.

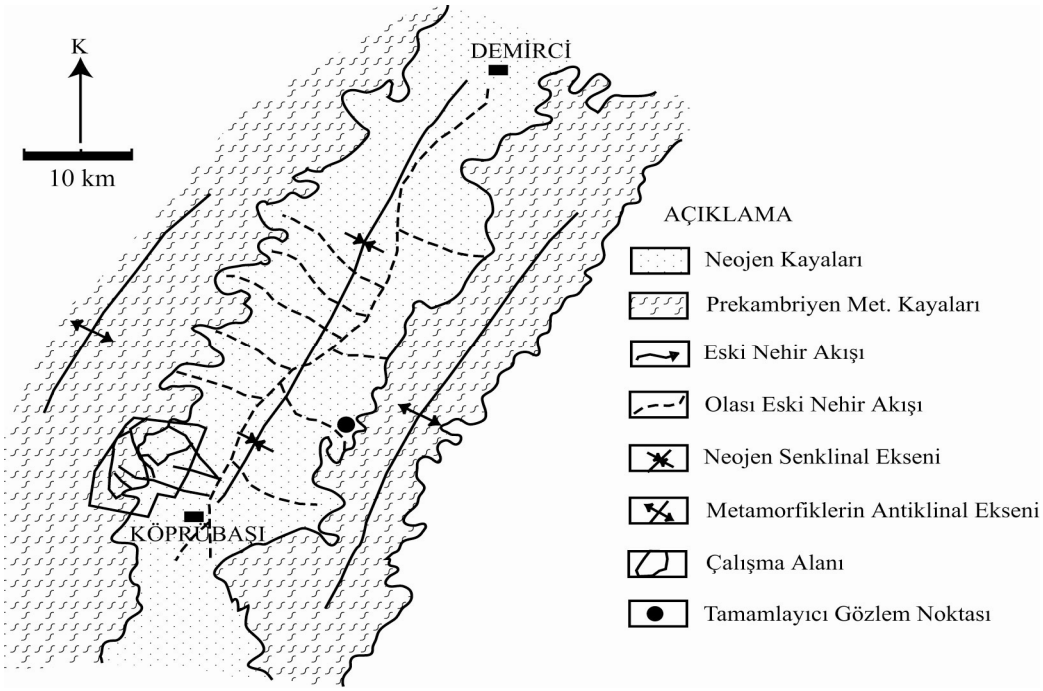
2.4. Cevherleşmeler

Köprübaşı uranyum yatağı Türkiye'nin en önemli uranyum yataklarından birisidir (Şekil 2.8.). Bugüne kadar yapılan jeolojik çalışmalar sonucunda Türkiye genelinde toplam 9129 ton uranyum rezervi tespit edilmiştir. Bu yatakların büyük bir çoğunluğu sedimanter tip yataklardır. Bu gruba Köprübaşı-Manisa (% 0.4-0.05 U_3O_8 tenörlü 2852 ton), Fakılı-Uşak (% 0.05 U_3O_8 tenörlü 490 ton), Küçükçavdar-Aydın (% 0.04 U_3O_8 tenörlü 208 ton) ve Sorgun-Yozgat (% 0.1 U_3O_8 tenörlü 3850 ton), Eskine Yayla- Giresun (% 0.05-0.1 U_3O_8 tenörlü 300 ton) uranyum yatakları girmektedir. Sadece Demirtepe-Aydın uranyum yatağı (% 0.08 U_3O_8 tenörlü 1729 ton) diğer uranyum yataklarından farklı olarak damar tipi uranyum yatağı tipine girmektedir (TAEK, 2004).



Şekil 2.8. Türkiye uranyum ve toryum oluşumlarının dağılımı (MTA'nın websitesi'nden alınmıştır).

Uranyum yataklarının ana kayacı konumundaki yöredeki sedimanter kayaçlar, Demirci-Köprübaşı hattı boyunca yapısal olarak uzanan kuzeybatı uzanımlı bir senklinalin parçası konumundadır (Şekil 2.9.). Tabanda yer alan metamorfik kayaçlar, ekseni çökel kayalara uyumlu olan bir çöküntü havzası oluştururlar. Bu yapısal özellik, sularını havzaya boşaltan Tersiyer drenaj sisteminin yönü ve yerini etkilediği gibi, daha sonra havza içindeki yeraltı sularının hareketini de etkilemiştir. Çökel kayaların eğimleri çoğunlukla yatay olup, havza kıyısına doğru 20" K' ye kadar ulaşır (Yılmaz, 1982).

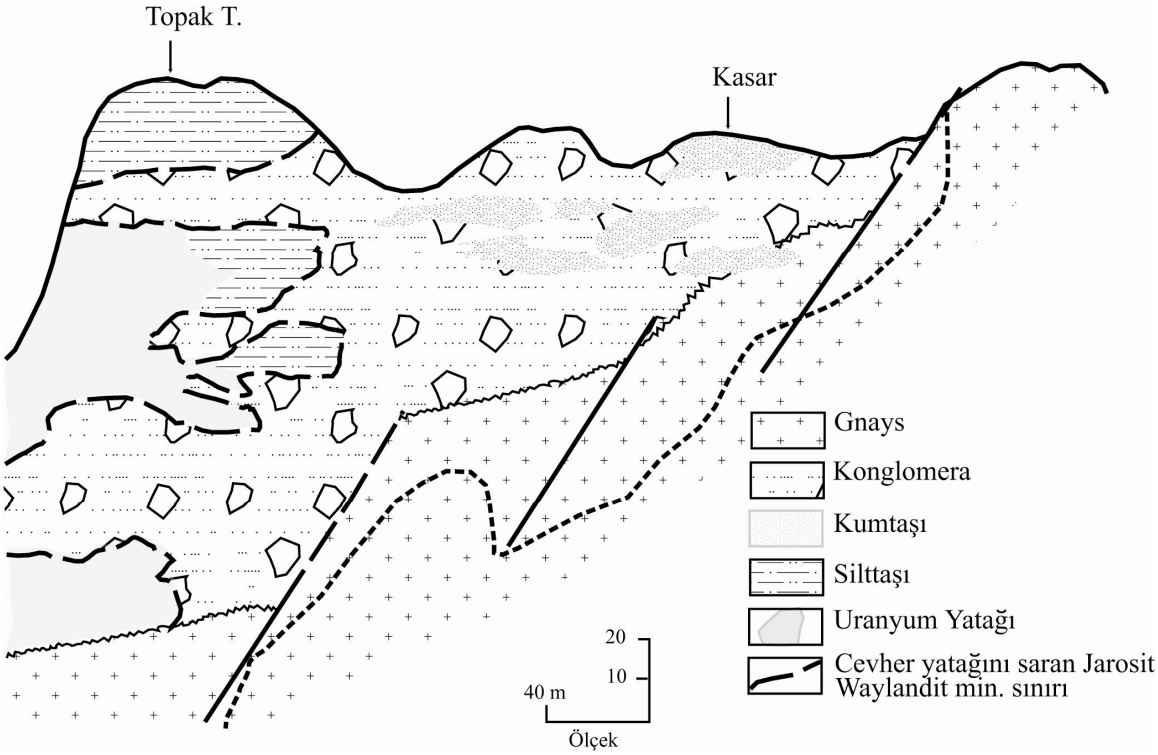


Şekil 2.9. Demirci-Köprübaşı havzasının yapısal haritası (Yılmaz, 1982'den).

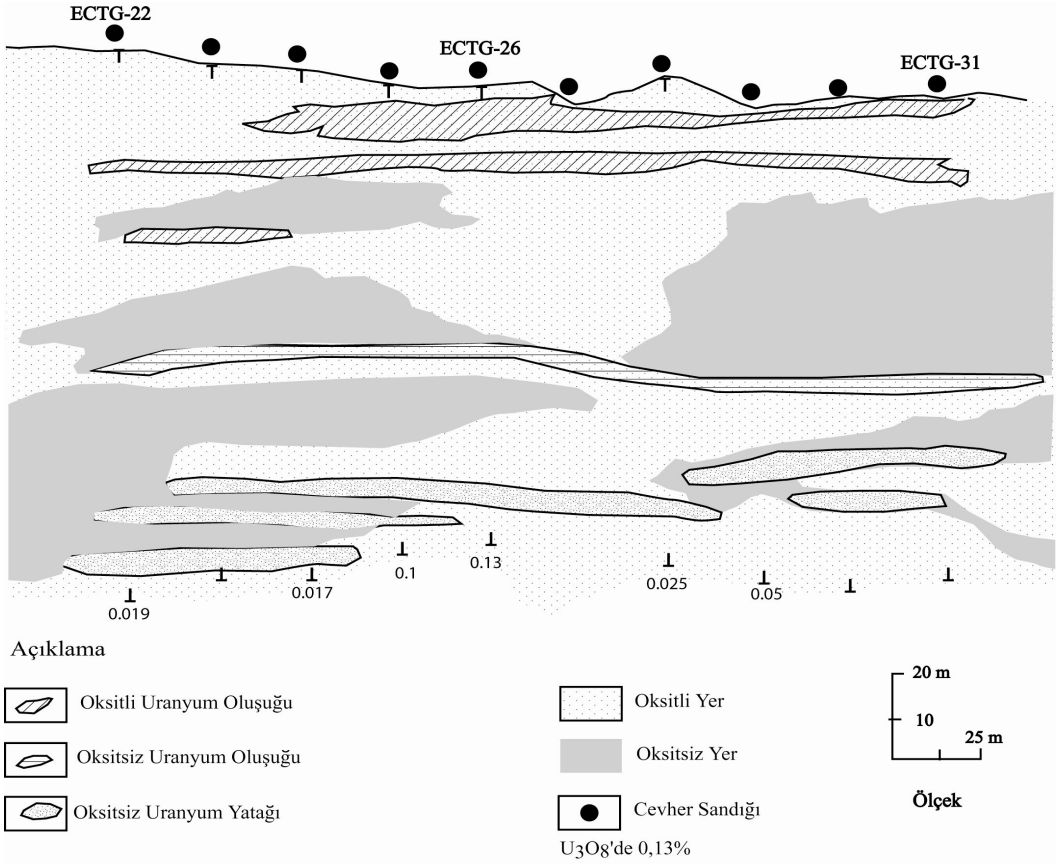
Köprübaşı uranyum yatakları (Batı Anadolu) yüksek dereceli metamorfik kayaçlarla üstünde yer alan, nehir çökelleri içinde oluşmuşlardır (Şekil 2.4.). Söz konusu çökeller Neojen yaşlı bol kil hamurlu kaba klastik malzeme biçimindedirler. Cevher yataklarının mineralojik ve jeokimyasal temele dayanan sınıflamasında oksitli (yüzeysel) ve oksitsiz (tabanda) diye iki tür ortaya çıkar. Oksitli yataklar ikincil jarosit-vaylandit ve manyetit-ilmenit tipi diye iki alt grupta ele alınır. Oksitsiz yataklar ise pirit-siderit tipindedirler. Uranyumca zengin sarı renkli

jarosit-vaylandit mineralleri çökel kayaların epijenetik hamuru biçiminde kum ve çakıllar arasındaki boşlukları doldururlar. Bazı durumlarda ise söz konusu mineraller üstünde sıvamalar şeklinde gözlenir. Oksitli yataklarda ayrıca kil ve silt düzeylerindeki çatlakları dolduran limon sarısı "sehroeckingerit" hidratlı uranyum minerali gözlenir. İlmenit-manyetitçe zengin uranyum yataklarında uranyum minerali gözlenemez, ancak autoradyografik dilimlerde düzenli dağılımı soz konusudur. Piritli-sideritli oksitsiz yataklarda uranyum yine amorf olup kumtası hamuru içinde siyah toz halinde yeralır. Yüksek tenörlü uranyum zenginleşmesi piritli, düşük tenörlü uranyum zenginleşmesi ise sideritli zonlara özgüdür. Cevher taşıyan kaba klastik kayaçların diyajenezi süresince veya daha sonra oluşmuş olan piritin varlığı, uranyum çökelmesi için uygun jeokimyasal ortamın gelişmesinde önemli olmuştur. U kapsayan yeraltısuları ile ortamdaki pirit oksitlenir. Bu olay piritli zonlardaki yeraltı sularının oksijenini yitirmesine neden olur. Sonuçta sülfit (SO_3) oluşur, sülfit daha sonra HS ve SO_4 anyonlarına bozuşur (decomposition). Bu yolla oluşan US iyonlarının Köprübaşı'ndaki uranyum yataklarının oluşumlarında ana indirgeyici rolü oynadığı düşünülür. Uranyum, karbonatlı sularda çözeltiler halinde taşınmıştır. Jarosit-vaylandit tipi yataklar da başlangıçta yukarıda belirtilen oksitsiz yataklar gibi gerçekleşmiştir. Ancak bunlar daha sonraki süreçlerde yüzeysel oksitlenmeler ile etkilenmişlerdir. Böylece, özünde, tüm yataklar "epijenetik" olup uranyum için kaynak kayaç olarak birinci derecede metamorfikler ve ikinci derecede tüfler düşünülmektedir (Yılmaz, 1982).

Çökel kayaçlar içindeki tüm uranyum yatakları üst nehir çökellerinin (üst fluvial birim) gözenek dolgusu, çakıl ve kum taneleri üstünde sıvamalar olarak ve çamurtaşı, silttaşı içindeki çatlaklar boyunca dolgu şeklinde belirir. Bütün uranyum yatakları metamorfik kayaçlara yakın oluşmuşlardır. Bu yatakların çoğunun uzun eksenleri eski kanal doğrultularına paralel uzanımlı merceklerdir (Şekil 2.10. ve 2.11.). Üst fluviyal birimin alt ve orta konglomera düzeylerinde oluşan Kasar (Şekil 2.10.), Tomaşa, Bozburun, Mestanlı ve



Şekil 2.10. Kasar uranyum yatağının genelleştirilmiş kesiti (Yılmaz, 1982'den).



Şekil 2.11. Ecinlitaş uranyum yatağının genelleştirilmiş kesiti (Yılmaz, 1982'den).

Topallı yatakları sarı ve limon sarısı renktedirler. Bu yataklar süreklilik göstermeyen uranyum cevher merceklerince karekterize edilir. Uranyum kapsayan konglomera seviyesi genellikle kötü derecelenmiş gevşek yapılı konglomera, az oranda kaba ve ince taneli kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı ve birkaç mm kalınlığında okside olmuş karbonlu bitki artıklarından oluşan düzeylerden ibarettir. Bu yataklar içindeki ortalama cevher yüzdesi % 0,03 den % 0,04 U_3O_8'e kadar değişir. Üst konglomera seviyesi içinde oluşan Tüllüce yatağı yeşilimsi ve kahverengi-gri renklerdir. Bu yatak silttaşı ve çamur taşı ile girift veya ara tabakalı, gevşek dokulu, kötü derecelenmiş kumtaşı ve konglomera içinde gelişir. Mercek şekilli cevher yatağı daima çamurtaşı, marn ve silttaşı tabakaları ile alttan ve üstten çevrilmiştir. Taşlaşmış ağaç malzemesi, çürümüş karbonlu bitki artıkları bu yatak içinde gözlenir. Cevher tenörü % 0,01 den % 0.06 U_3O_8'e kadar değişir. Kasar, Tomaşa, Bozburun, Mestanlı, Topallı ve Tüllüce yatakları oksidasyon zonları içinde oluşmuşlardır. Bunların tümü yüzeyde görünüm verirler. Üst fluviyal birimin kumtaşı düzeyinde Ecinlitaş uranyum yatağı (Şekil 2.11.) oluşur. Cevher yatağı yarımay biçimli olup, 4 m' lik bir ortalama kalınlığa ve % 0,06 U_3O_8 tenöre sahiptir. Yatağın genişliği 130 m'den 330 m'ye kadar değişim gösterir. Rezervuar kayacı kötü derecelenme gösteren kaba ve orta taneli kumtaşı ve bununla aratabakalanmış konglomeratik mercekler, çamurtaşları ve silttaşlarından oluşmaktadır. Yatak bol pirit kapsayan uranyumca zengin birçok süreksiz merceklerden oluşur (Şekil 2.11.). Kumtaşı içindeki bu cevher mercekleri bol siderit kapsayan düşük tenörlü uranyum mineralleşmesiyle biribirlerine bağlantılıdır. Ecinlitaş uranyum yatağı 90 m ve derinlerdeki indirgen gri renkli kumtaşı düzeylerinde gelişmiştir (Yılmaz, 1982).

2.5. Biyojeokimya

Biyojeokimya ilk defa 1926 yılında Varnadsky tarafından dünya üzerindeki bütün jeokimyasal tepkimelerin herhangi bir yolla canlı yaşam tarafından etkilendiğini belirtmek üzere kullanılmıştır (Schiesinger, 1992). Jenetik olarak biyojenik anomaliler tüm canlıları içeren bitki, hayvan ve mikro organizmaların jeokimyasal özellikleriyle ilgili bir anomali grubudur. Ancak biyojenik anomaliler denince çoğu zaman yaygın uygulama alanlarının fazla olması nedeniyle daha çok bitkiler kullanılmaktadır (Erdman, 1984). Çünkü hayvan ve mikro organizmalarla ilgili biyojeokimyasal anomalilerin uygulama alanları çok sınırlıdır (Köksoy, 1991). Biyojeokimyasal propeksiyon 1965 yılından sonra tam anlamıyla uygulanmaya başlanmış ve 1973 yılına kadar, toprak, kayaç ve bitki örneklerindeki çeşitli elementlerin analiz edilmesi ile 90 adet mineral yatağı keşfedilmiştir. Ancak; biyojeokimyasal prospeksiyonda geniş bir şekilde bitkilerin kullanılmasından sonra; Kovalevsky "Bariyer Etkisi" kavramından bahsederek, her mineralizasyona bütün bitkilerin rehber olamayacağını ileri sürmüştür. Gerçekten de yapılan birçok araştırmada bitki türlerinin sadece % 5'inin dokularındaki element derişimi ile topraktaki element derişimi arasında bir ilişki olduğu ortaya çıkartılmıştır. Ancak biyojeokimyasal propeksiyonun öncüleri, bitkilerin tamamen topraktaki elementleri yansıtabilmesinin mümkün olamayacağını belirterek "böyle bir ilişki var olabilir ancak bu bir kural değildir" demişlerdir. Bununla birlikte "bariyer etkisi" kavramının tartışılması biyojeokimyasal yolla maden arama yöntemlerinin gelişmesinde büyük rol oynamıştır (Erdman, 1984; Özdemir, 1996). Bitki türlerinin cevherleşmelerle ilgili olarak gösterdikleri dağılım morfolojik değişikliklerin gözlem yoluyla incelenmesiyle yapılan cevher aramasına "Jeobotanik Propeksiyon", kimyasal analizlerinin yapılmasıyla cevher aranmasına ise "Biyojeokimyasal Prospeksiyon" denilmektedir. Jeobotanik ve jeokimyasal prospeksiyon yöntemlerinin her ikisine birden de "Botanik Prospeksiyon" adı verilmektedir (Rose ve diğ. 1979; Köksoy, 1991). Biyojeokimyasal prospeksiyonun başarılı bir şekilde

uygulanması da, toprakta cevherleşmeye ait element derişimi ile bitkideki element derişimi arasında doğrusal bir ilişki olmasına bağlıdır (Özdemir ve Sağıroğlu, 1996).

2.5.1. Metallerin bitki tarafından alınması

Bitkiler tarafından metallerin alınmasını etkileyen faktörler kısaca şöyle özetlenebilir; bitkilerin besin ihtiyacı, alabilecekleri kadar toprakta elementlerin bulunması, bitki köklerindeki reaksiyonlar, hareket ve depolanma gibi faktörler sayılabilir (Rose ve diğ. 1979, Özdemir, 1996).

2.5.1.1. Bitki beslenmesi

Her bitkinin kendine özgün bir beslenme şekli bulunmaktadır ve bitkilerdeki elementlerin miktarı da toprakta bulunan elementlerin miktarı ile ilişkilidir (Rose ve diğ., 1979, Özdemir, 1996). Her ne kadar bitkiler kökleriyle aldıkları elementler arasında seçim yapma özelliğine sahipseler de, bünyelerinde fazla sayıda element bulunmakta ve çözünebilir durumda çevrede bulunan çok sayıda elementi absorbe etmektedirler. Bitkilerde bulunan elementlerin miktarı; bitkinin türü, yaşı, kök gelişimi, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısı, uygulanan tarımsal yöntemler, iklim koşulları vs. gibi faktörler ile ilgilidir. Bitkilerde makro düzeyde C, H ve O başta olmak üzere daha az miktarda N, K, Ca, Mg, P, S ve F vb, elementler ve bu elementlerin dışında bitki gelişmesi için mutlak gerekli olan elementlerden; Mo, Cu, Zn, Mn, B, Cl ve Na gibi mikro elementlerde bulunmaktadır (Kacar, 1984; Rose vd., 1979). Ayrıca toprakta bulunan toksik elementler (Pb, Cd, As, Hg vb.) ve bitki beslenmesi açısından gerekli olan elementlerin fazlalığı bitki büyümesini engellemektedir.

2.5.1.2. Topraktaki elementlerin bitkilere geçişi

Bitkiler toprakta ve daha derinlerdeki yer altı sularında çözünmüş elementleri kökleri ile bünyelerine alarak beslenirler. Bu nedenle besin suyu, köklerin kapsamış oldukları geniş bir sahadaki toprak ve yer altı suyunu temsil eder. Besin suyu içerisindeki inorganik tuzları oluşturan elementler fotosentez ve metabolizma sonucunda organik bileşiğe dönüşürler.

Bunun için bitkilerin beslendikleri toprak ve yer altı suları ile besin suyu bitki organlarının kimyasal yapıları ile bağlantılıdır. İşte bu bağıntı sayesinde botanik anomaliler oluşmakta ve anomalilerin saptanması ile de maden prospeksiyonu yapılabilmektedir.

Bitkilerin kökleri ile üzerinde büyüdükleri toprak ve kayaçlardan çeşitli elementleri bünyelerine alırlar; bitkinin yaprak, dal gibi çeşitli organlarının yapılarına giren bu elementler, bitki organlarının dökülme, kırılma veya ölümü ile toprağın üst kısmında birikirler. Toprak üstünde biriken organik döküntüler bakteri faaliyetleri ile çürümeye başlarlar. Çürüme ürünlerinin bir kısmı toprağın B zonunda Fe, Mn ve Al ile birlikte çökelir ve absorbe olurlar. Diğer bir kısmı ise bitki kökleri tarafından tekrar emilirler. Böylece bazı elementler için kayaç – toprak – bitki şeklinde biyojeokimyasal çevrim devam eder. Yüzeyde çürüyen veya bozunan organik maddelerin suda çözünmeyen veya çok az çözünen kısmı toprağın A zonunda birikerek humusu oluşturur. Yani derinlerdeki bazı elementler bitkiler yoluyla toprağın üst kısmına taşınabilmekte ve zamanla toprağın bazı zonlarında zenginleşmektedir (Köksoy, 1991).

2.5.1.3. Bitki köklerinde reaksiyonlar ve depolanma

Bir elemente olan gereksinim başka elementlerle giderilemeyeceği için, bitki besin suyunu alırken ihtiyacı olan elementleri seçmeye yarayan ve niteliği henüz iyice anlaşılamayan bir mekanizmaya sahiptir. Böylece bazı elementler bünyeye kolayca kabul edildikleri halde diğer elementler o kadar kolay kabul edilmemektedirler. Bu mekanizmada; difüzyon (yayılma), iyon değiştirme gibi fizikokimyasal olayların yanı sıra bitki metabolizmasının da büyük bir rolü vardır.

Özellikle “besin taşıyıcıları” adı verilen organik moleküller besin suyuna girmiş gerekli iyonları bitki organlarına taşırlarken, bitkiye gerekli olmayan diğer iyonların bitki köklerinde birikmelerine veya toprağa geri salınımlarını sağlamaktadır. Böylece normal yaşam şartları altında bitkiler gereksinim duydukları elementleri kabul edebilirler. Genellikle

toksik elementlerin büyük bir kısmı bitki köklerinde tuzlar oluşturarak birikirler. Az bir kısmı da diğer organlara dağılırlar. Bunun için toksik elementlerin bitki küllerindeki miktarları topraktaki miktarından daha azdır (Köksoy, 1991).

2.5.2. Jeokimyasal ve biyojeokimyasal anomaliler

Jeokimyasal propeksiyon, indikatör elementlerin cevher yatakları çevresinde göstermiş oldukları ve cevherleşmeyle yakından ilişkili, normalden farklı dağılım özelliklerinin saptanmasına dayanmaktadır. İndikatör elementlerin cevher yatakları civarında ve cevherleşmeyle yakından ilişkili olarak göstermiş oldukları farklılığa "Jeokimyasal Anomali" denilmektedir. Anomali, normalden sapma veya farklılık demektir. Cevherleşmemiş veya bir cevherleşmeden etkilenmemiş bölgelerden alınan örneklerdeki bir elementin miktarına "Temel Değer" (Background değer veya normal değer) denilmektedir. Aynı bölgede, aynı elemente ait temel değer topluluklarının nitelikleri örnek türüne göre değiştiği gibi, bir bölgeden başka bir bölgeye göre de değişiklik gösterebilmektedir. Cevher yatakları, doğada az bulundukları için "anormal" kabul edilmektedirler. Bu yatakların civarında bulunan veya bunlardan türeyen ve normalden farklı olan indikatör element dağılımlarına da "anomali dağılımları" denilmektedir. Jeokimyasal prospeksiyonun öncelikli amacı, ekonomik cevher yataklarından kaynaklanan jeokimyasal anomalilerin yerlerini saptamaktadır. Cevher yataklarından kaynaklanmayan doğal yüksek değerler (sahte veya yalancı anomali toplulukları) de elde edilebilir. Temel değerler ile anomali değerleri birbirinden ayırt eden değere ise "eşik değer" denilmektedir. Eşik değeri normal değerlerin üst sınırı veya anomali değerlerinin alt sınırı olarak tanımlamakta olasıdır (Köksoy, 1991).

Genel olarak biyojeokimyasal bir anomaliye sahip bölgelerde yetişen bitkiler, diğer bölgelerde yetişen aynı bitki türlerine göre farklı derişimlerde element içermektirler. Bu farklılık pozitif (+) anomali veya negatif (-) anomali şeklinde olabilmektedir. Anomalili topraklarda yetişen bitkilerde çeşitli fizyolojik veya morfolojik değişiklikler meydana

gelmektedir. Bitki organlarındaki element derişimi prospeksiyon amacıyla kullanılacaksa, bölgedeki maden yataklarıyla, bitkideki element derişimi arasında doğrusal bir ilişki olmalıdır. Bitkilerdeki element derişimleri; topraktaki element derişimine, toprağın pH'ına, toprak nemine, toprakta diğer elementlerin bulunmasına, bitki türüne, bitki organları arasındaki farka, bitki kökünün derinliğine, bitkinin yaşına, bitkinin sağlığı ve görünümü (güneş ışığının miktarı ve yönü) gibi yaklaşık 20'ye yakın faktöre bağlıdır. Biyojeokimyasal prospeksiyon yapılırken, her örnek için mümkün olduğu kadar bütün bu faktörleri sabit tutmaya ve örneklerdeki element miktarlarındaki değişimin yalnız cevherleşmeye bağlı kalmasına çalışılmalıdır. Aksi halde elde edilen anomaliler cevherleşmeyle değil, diğer faktörlerle ilgili olacağından yanlış bir yorum yapılabilir (Köksoy, 1991).

2.5.3. Biyojeokimyasal Ölçüm Teknikleri

2.5.3.1. Hazırlık ve Ön Çalışma

Öncelikle çalışma sahasında topoğrafik ve jeolojik haritalar elde edilerek, bölge hakkında yazılmış jeolojik raporlar gözden geçirilmelidir. Bitki türlerinin yayılımı, bitkilerin sistematik tanınması, kök sisteminin derinliği, örnek alınacak organın saptanması (yaprak, dal, kök vb.) örnekleme modeli ve aralığı saptanmalıdır.

Çalışma bölgesinde prospeksiyonda kullanılan bitki türlerinin cevherleşme bölgesini saptayabilecek şekilde belirlenen aralığa göre alınması, aynı tür bitkilerden çalışma bölgesinden uzak yerlerden de örnek toplanması sonuçların karşılaştırılması bakımından önemlidir. Bitki türlerinin alındığı bölgeden toprak, su ve kayaç vb. örneklerin alınmasının yanında, uygun analiz yöntemlerinin seçilmesi de önemlidir.

2.5.3.2. Örneklerin Kimyasal Analize Hazırlanması

Bitki, toprak ve su örneklerindeki element analizlerinde Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrofotometrisi (Alevli AAS), ICP – AES ve ICP – MS kullanılmaktadır. Organik maddelerin giderilmesi; bitki kökenli örneklerin kompleks matriks içermesinden dolayı ölçüm

basamağında birçok problem ortaya çıkmaktadır. Bu problemler; örnek yapısının tam olarak bilinmemesinden ve özellikle bitki kökenli örneklerin yetiştiği bölgelere göre farklı düzeylerde bileşenler içermesinden veya ölçüm basamağında bu bileşenlerin matriks etki göstermelerinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle yukarıda belirtilen problemlerin giderilmesinde uygun bir örnek hazırlama basamağı seçilmelidir (Hoening ve Borger, 1983).

Alevli AAS ve ICP'de bitki ve bitki kökenli organik matriks içeren örneklerin element analizlerinde ve organik maddelerin giderilmesinde, genellikle kül etme ve yaş kimyasal parçalama teknikleri kullanılmaktadır.

1. Kül etme tekniği: Bitki kökenli örneklerde kül etme tekniği; örnek uygun kaplarda belirli bir sıcaklıkta ve belirli bir sürede tutularak organik yapı ve bileşenlerin kırılması ve elde edilen kalıntının inorganik bir asit içerisinde çözülerek analiz edilmesi ilkesine dayanmaktadır. Organik maddelerin tamamen uzaklaştırılmasında; öyle bir kül etme sıcaklığı seçilmelidir ki, kül etme süresince analizi yapılan elementin kayba uğramaması ve elde edilen kalıntının asitte çözünmesi istenmektedir (Hoening ve Borger, 1983).

2. Yaş kimyasal parçalama tekniği: Bu teknikte; örnek asit veya asit karışımları ile muamele edilerek organik maddenin parçalanması ilkesine dayanır (Hoening ve Borger, 1983).

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmanın amacı Köprübaşı uranyum yatağı çevresindeki uranyum kirliliğinin boyutlarını araştırmaktır. Bu kapsamda uranyum yatağı çevresindeki toprak, bitki ve su örnekleri toplanmış, laboratuarda gerekli süreçlerden geçtikten sonra kimyasal analizleri yapılarak uranyum içerikleri saptanmıştır. Örneklerin analiz edildiği ICP-MS'in teknik özellikleri Tablo 3.1.'de verilmiştir.

ilkel yolla plazma bağlayıcı	Perkin- Elmer Elan 900
Sisleştirici	Tersakış
Sprey odası	Ryton, çift geçiş
RF gücü	1000 W
Plazma gaz akış oranı	15 l min^{-1}
Yedek gaz akış oranı	1.0 l min^{-1}
Taşıyıcı gaz akış oranı	0.9 l min^{-1}
Örnek alım oranı	1.0 ml min^{-1}
Detektör modu	Otomatik

Tablo 3.1: ICP- MS cihazının teknik özellikleri

3.1. Toprak örnekleri

Toprak örnekleri, Köprübaşı uranyum yataklarının bulunduğu alanlardan toplanmıştırr. Bu topraklar daha çok Neojen yaşlı farklı boyutlara sahip akarsu çökellerine ait topraklardır. Bölgeden alınan toprak örnekleri, farklı alanlarda mostra veren uranyum yataklarının bulunduğu alanlardan ve yakın çevresinden alınmıştır. Toplam 63 adet toprak örneği derlenmiştir. Bu örnekler bitki köklerinin derinliğine göre, yüzeyden yaklaşık 10-50 cm. derinliklerden alınmıştır. Örnekler laboratuarda oda sıcaklığında kurutulmuş, uygun elek çapında elenerek, silisli kayaç ve bunların kaba taneleri ayıklanmış, numaralandırılmış ve poşetlenerek, analize gönderilmeye hazır hale getirilmiştir. Öğütülmüş 1.0 gr'lık toprak örneklerine HCl (2 ml) /HNO_3 (2 ml) / H_2O (2 ml) in 1/1/1' lik karışımı (1 gr örnek için 6 ml karışım) eklenerek 95^o C de 1 saat süreyle karıştırılarak ısıtılmıştır. Böylece silikatlar hariç bütün bileşenlerin çözünürleştirilmesi sağlanmıştır. Daha sonra ise ICP-MS' de analize

geçilmiş, uranyum da dahil olmak üzere toplam 53 elementin ppm ve ppb seviyesinde analizi yapılmıştır.

3.2. Bitki örnekleri

Bitki örnekleri, farklı alanlarda mostra veren uranyum yataklarının bulunduğu alanlardan ve yakın çevresindeki alanlardan alınmıştır. Bu bitkilerin bir kısmı çok yıllık ağaç, bir kısmı ise yıllık ve çok yıllık otsu bitkilerdir. Yöredeki bitkilerin seçilmesinde, yöre taksonomisi dikkate alınarak en yaygın bitki türleri seçilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla yörede yetişen özgün bitki türlerinin seçilmesi, adlandırılması ve tür tespitinde F. Ü. Fen-Ed. Fak. Biyoloji Bölümü öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Şemsettin Civelek ve lisansüstü öğrencileri teknik yardım ve destekte bulunmuştur. Bitki örneklerinin araziden toplanması genellikle çiçek dönemine karşılık gelen Nisan-Haziran ve tohum dönemlerine karşılık gelen Temmuz-Eylül aylarında gerçekleştirilmiştir. Tohumlu örnekler özellikle bitkilerin tür tespitini yapılabilmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca bazı örneklerin tohum bölümlerinin de kimyasal analizleri yapılmıştır. Yörede; *Quercus robur* L. (meşe), *Olea europeae* L. (zeytin), *Pictacia lentiscus* L (sakız ağacı), *Anchusa, Althaea (hatmi çiçeği), Triticum sativum (buğday), Hordeum vulgare L.* (arpa), *Asteraceae (dikenli ot), Brassicaeae* (baklagiller), *Cistus creticus* (Girit ladeni), *Asphodelus aestivus* (çirişotu)*, Fragaria vesca* L. (çilek)*, Capsicum annuum L. (biber), Fabaceae, Ocimum (fesleğen), Papaver rhoeas (gelincik), Papaver somniferium (haşhaş), Urtica dioica (ısırganotu), Phragmatis australis (kamış), Astragalus (geven), Liliaceae (zambak), Lactuca sativa (marul), Onopordon (kangal), Anthemis (papatya), Saponaria officinalis (sabunotu), Portulaca oleracea (semiz otu), Verbascum (sığırkuyruğu), Nicotiana tabacum* L. (tütün), *Allium cepa (soğan), Allium sativum (sarımsak), Teucrium polium* L. (tüylü kısamahmut) ve *Trifolium arvense* L. (üçgül) gibi bitkiler çok yaygın olarak görülmektedir. Bu bitkilerin kök uzunlukları çok değişken olup, birkaç cm ile 5-6 m. arasında

değişmektedir. Bundan dolayı her bitki kökünün beslendiği toprak derinliği, bitkiden bitkiye değişiklik göstermektedir. Örneğin bölgede çoğu otsu bitkinin kök derinliği 10-15 cm derinlikte iken, bazı bitkiler daha uzun kök sistemine sahiptir. Dolayısıyla, kökün beslenmiş olduğu topraklar en fazla 50 cm kazılarak, kök ve bunların beslenmiş olduğu topraklardan örnekler alınabilmiştir. Kök sistemi daha uzun olsa bile bu kesimlerden daha fazla kazılamadığı için toprak örneği alınamamıştır.

Araziden toplanan bitki örnekleri kök, dal, yaprak ve tohum şeklinde ayrılarak sınıflandırılmıştır. Musluk suyu ile iyice yıkanan bitki kısımları, saf su ile de yıkanıp durulanmıştır. 95 ^{0}C de yaklaşık 24 saat süre ile kurutulmuş ve sabit tartıma getirilmiştir. Kurutulmuş örneklerden 10-20 gr arasında tartılan bitkiler fırında 300 ^{0}C' de gaz çıkışları bitinceye kadar yaklaşık 48 saat süre yakılmış ve kül haline gelmesi beklenmiştir. Kül örneklerine 2 ml derişik nitrik asit ilavesinden sonra 1 saat süreyle 95 ^{o}C''de ısıtılmıştır. HCl/HNO_3 / H_2O_2 in 1/1/1' lik karışımından (1 gr örnek için 6 ml karışım) eklenerek 1 saat süreyle zaman zaman karıştırılarak ısıtılmıştır. Son olarak ise toplam 149 adet bitki örneğinin (kök+gövde+tohum) uranyum miktarlarının belirlenmesi amacıyla ICP-MS'de analizleri yapılmıştır.

3.3. Su Örnekleri

Çalışma alanındaki değişik lokasyonlardan 30 adet su örneği toplanmıştır. Bu örneklerin büyük kısmı içme amaçlı açılan kuyulardan alınmıştır. Bu örnekler bölgede yağışların en bol olduğu mayıs ayı ile en az olduğu eylül-ekim döneminde alınmıştır. Su örnekleri 500 ml' lik su kaplarına doldurulmuş, pH' ları ölçülmüş ve bu kaplara 5 ml HNO_3 (nitrik asit) eklenerek oda sıcaklığında saklanmıştır. Daha sonra ise ICP-MS' de analiz edilerek, uranyum da dahil olmak üzere toplam 72 elementin değişim miktarları saptanmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Köprübaşı uranyum yatağı, 1960 yıllardan beri bilinen, üzerinde bir miktar madencilik çalışması yapılmış, Türkiye'nin en büyük uranyum yataklarından birisidir. Bu çalışma kapsamında bu yatakların çevresindeki toprak, bitki ve sulardaki olası uranyum kirlilik boyutlarının saptanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda yatakların çevresinden sistematik örnek alınması planlanmış ancak yatakların düzensiz mercek şekilli bir geometriye sahip olması nedeniyle sistematik örnek alınamamıştır. Ayrıca bitki örtüsünün çok fakir olması özellikle yatakların üzerinde ve çevresinde sınırlı bitki türlerinin yetişmiş olması da böyle bir örnekleme yapmayı olanaksızlaştırmıştır. Yöreden alınan örnekler genellikle yatakların üzerinden ve çevresinden alınmaya çalışılmıştır. Alınan örneklerin çoğunda uranyum çok düşük değerler vermiştir. Bu durumu uranyumun yüzeysel ortamlarda çok hareketli bir element olmasına bağlamak mümkündür. Yani yöredeki formasyonlardaki uranyum yüzeysel ortamlarda yıkanarak, bölgeden uzaklaşmıştır. Bu nedenle de yüzeyden alınan toprak örneklerinde çok düşük uranyum değerlerinin gözlenmesine neden olmuştur. Bölgede sadece uranyum yataklarının bulunduğu alanlardaki topraklarda uranyum değerleri yüksek çıkmıştır. Geri kalan alanlarda ise çok düşük uranyum değerleri saptanmıştır. Yöredeki analizlerde çok sayıda element analizi de yapılmıştır ancak bu analizlerde önemli bir zenginleşme gözlenmemiştir. Bu çalışmada, Köprübaşı uranyum yatağı ve çevresinde toplanmış olan uranyum yöredeki toprak, bitki ve sudaki değişimleri ve çevreye olan olası etkileri incelenmiştir.

Çalışma alanındaki toprak, bitki ve sulardaki uranyumun dağılımına geçmeden önce, uranyumun jeokimyasal özellikleri, çeşitli ortamlar ve canlılardaki içerikleri ve gereklilikleri aşağıda kısaca özetlenmiştir;

Atom Numarası : 92

Atom ağırlığı : 238.0289

Genel değerlik durumu : U^{3+}

Genel mineral formları : Uraninit (U_3O_8), karnotit $K_2U_2(VO_4)_2\ 2H_2O$

Topraklardaki toplam içeriği: 0.10-11.2 ppm; ortalaması 0.79-3.70 ppm

Tatlı sudaki içeriği : 0.05 ppb

Deniz suyundaki içeriği : 3.13 ppb

Sudaki kimyasal türleri : UO_2^{2+}, $UO_2(CO_3)_3^{4-}$, $UO_2(CO_2^{2-}$, $UO_2(HPO_4)_2^{2-}$, $UO_2(CO_3)_3^{4-}$

İnsanlardaki içeriği : Kas, 0.9 ppb; kemik, 0.016-70 ppb; kan, 0.0005 ppb;

Hayvanlardaki içeriği : 13 ppb

Bitkilerdeki içeriği : 0.5-60 ppb; referans bitki, 0.01 ppm

Gübrelerdeki içeriği : Fosfat kayacı, 120 ppm

Genel yiyeceklerdeki içeriği : Mısır ve patetes de 0.8 ppb, diğer yiyeceklerde ise 2 ppb

Gereklilik : Bitkiler ve hayvanlar için gerekli değildir.

Bitkiler

Uranyumun temel değerleri <1-6 ppm arasında sıralanır. Bitkilerde aşırı uranyum kromozom sayılarını etkileyerek toksik etki göstermesine neden olabilir (Pais ve Jones, 2000).

Hayvanlar / İnsanlar

Günlük diyet alımlar 0.001 ile 0.002 mg arasında, fareler için öldürücü alımlar 36 mg, ortalama bir insan vucudunda toplam kütle olarak 0.09 mg olmalıdır (Pais ve Jones, 2000).

Besin zincirindeki hareketlilik

Bilinmiyor (Pais ve Jones, 2000).

4.1. TopraktaUranyum

Köprübaşı çevresinden toplanan 63 adet toprak örneği yöredeki uranyum yataklarının bulunduğu alanlardan ve yakın çevresinde yetişen bitkilerin köklerinin beslendiği alanlardan alınmıştır. Toprak örnekleri, üzerinde doğal olarak yetişen bitkilerin beslendiği kök sisteminin diplerine yakın yerlerden toplanmıştır.

Uranyum, üst kıtasal kabukta ortalama 2.5 ppm olarak bulunumaktadır (Wedepohl, 1995). Yerkabuğunda ise uranyum, daha çok magmatik kayaçlar içerisinde; granit, riyolit, dasit ve trakit gibi asit ve nötr bileşimli kayaçlarda, metamorfitler içerisinde; gnaysta, sedimenter kayaçlar içerisinde ise daha çok killi sedimentler ile şeyler içerisinde gözlenmektedir (Kabata-Pendias ve Pendias, 2001). Uranyumun, doğada U^{235} ve U^{238} gibi iki doğal izotopu vardır. Ayrışma sırasında, uranyum kompleksler oluşturur, kolaylıkla çözünür ve hareketlenir. Bununla beraber uranyum farklı duraylı bileşikler (oksit, karbonat, fosfat, vanadat ve arsenatlar) şeklinde de oluşabilir. Uranyum doğada genellikle toryum ile uyumludur ve daha çok jeolojik ortamlarda +4 ve +6 yüke sahiptir. Lifosferdeki uranyumun dağılımı, Eh-pH ve oksidasyon şartları tarafından kontrol edilir (Kabata-Pendias ve Pendias, 2001). Uranyum, farklı sulu ve katı formlarda doğal olarak oluşmuş radyoaktif bir ağır metaldir. Bununla beraber, farklı insan aktiviteleri ekosistemde ve çevrede uranyum konsantrasyonlarının artışına sebeb olmuştur (Antunes vd., 2007; Baborowski ve Bozau, 2006; Saari vd., 2007). Bu tip ekosistemlerdeki sedimanlar, uranyum gibi pek çok elementin depolanması ve saklanması için uygun alanlar oluştururlar. Taze su sedimentlerindeki doğal uranyum konsantrasyonları 10 ppm' in altındadır (Kurnaz vd., 2007) ancak daha yüksek seviyeler bazı özel alanlarda ölçülmüştür. Örneğin; maksimum konsantrasyonlar Avustralya'da 450 ppm (Lottermoser vd., 2005), İspanya'da 810 ppm (Lozano vd., 2002),

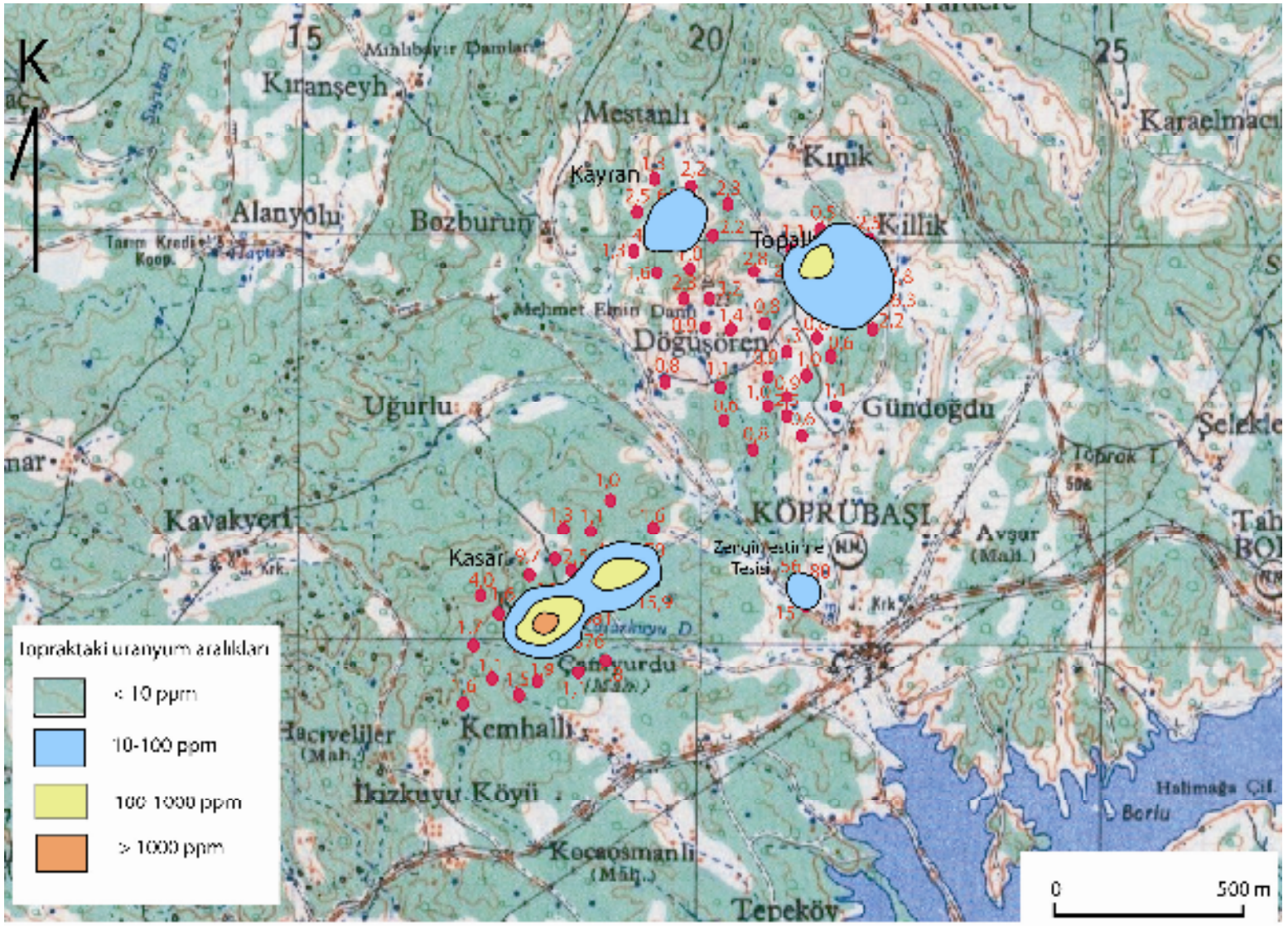
Kanada'daki maden sahalarında ise 5650 ppm (Neame vd., 1982) ve 18.000 ppm (Hart vd., 1986) olarak ölçülmüştür.

Ayrıca farklı ülkelerdeki yüzey topraklarında uranyum daha düşük değerlere sahiptir ve ortalama olarak Kanada 1.22, İngiltere 2.60, Hindistan 11.0, İtalya 3.17, Polonya 0.79, Amerika 3.70, Rusya'da 3.8 ppm olarak ölçülmüştür (Kabata-Pendias ve Pendias, 2001). Keban Pb-Zn yataklarının bulunduğu alandaki yüzey topraklarının uranyum değerleri 1.1-70.3 ppm arasında değişmektedir ve kirlenmemiş alanlardaki (1.7 ppm; Sarkar, 2002'den) topraklara göre Keban bölgesi uranyum açısından oldukça fazla kirlenmiş olduğu saptanmıştır (Sasmaz ve Yaman, 2008). Çin'in yüksek uranyum temel değerine sahip yüzey topraklarındaki uranyum değerleri 7.7 ppm olup, kirlenmemiş alanlardaki uranyum değerlerine (1.7 ppm) göre çok daha fazla kirlenmiştir (Sarkar, 2002).

Çalışma alanından derlenen toplam 63 adet toprak örneğinin uranyum dağılımı incelenmiştir (Şekil 4.1.). Toprak örnekleri, yörede yüzeyleme gösteren uranyum yatağının bulunduğu alanlardan, çevredeki farklı litolojilerdeki yan kayaçlara ait topraklardan derlenmiştir. Toprak örneklerinde en yüksek uranyum değerleri eski yıllarda uranyum üretilen sahalardan alınan örneklerde saptanmıştır. Bu sahaların dışındaki alanlardaki yüzey topraklarında uranyum değerleri çok düşük çıkmıştır. Daha önceki yıllarda yapılan jeolojik çalışmalarda özellikle jeolojik kesitlerde; yöredeki tüm Neojen yaşlı formasyonların her bölgesinde önemli uranyum birikimleri gözlenmemiştir. Yörede yapılan sondajlı çalışmalarda bu durumu açık şekilde görmek mümkündür (Şekil 2.11.). Özellikle yüzey topraklarında haritadan da gözlendiği gibi bu değerler çok düşüktür (Şekil 4.1.).

Çalışma alanındaki uranyum ile diğer elementler arasındaki korelasyon ilişkileri Tablo 4.1.'de gösterilmiştir. Bu tablodan da görülmektedir ki uranyum, bakır (0.94) ve kurşun (0.81) ile kuvvetli pozitif, arsen (0.19), talyum (0.28), kadmiyum (0.20) ve selenyum (0.29) ile zayıf pozitif korelasyonlar göstermektedir. Benzer şekilde uranyum, toryum ile herhangi bir

korelasyon ilişkisi göstermemektedir. Bu da uranyum ile toryumun depolanma ortamına beraber taşınmadığını, daha çok bakır ve kurşunla taşındığını göstermektedir.

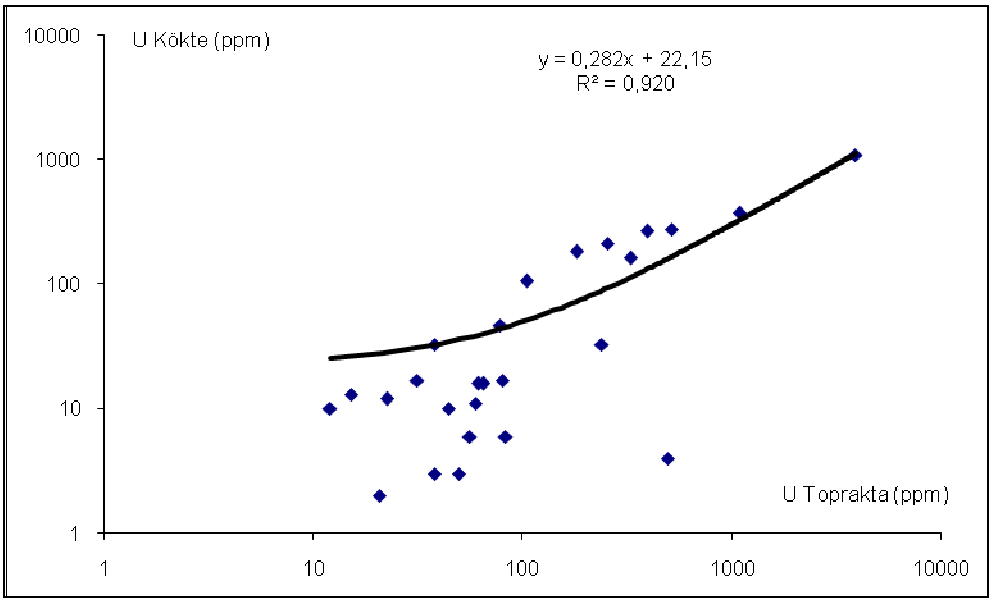


Şekil 4.1. Köprübaşı uranyum yatağı çevresindeki topraklardaki uranyum dağılımı.

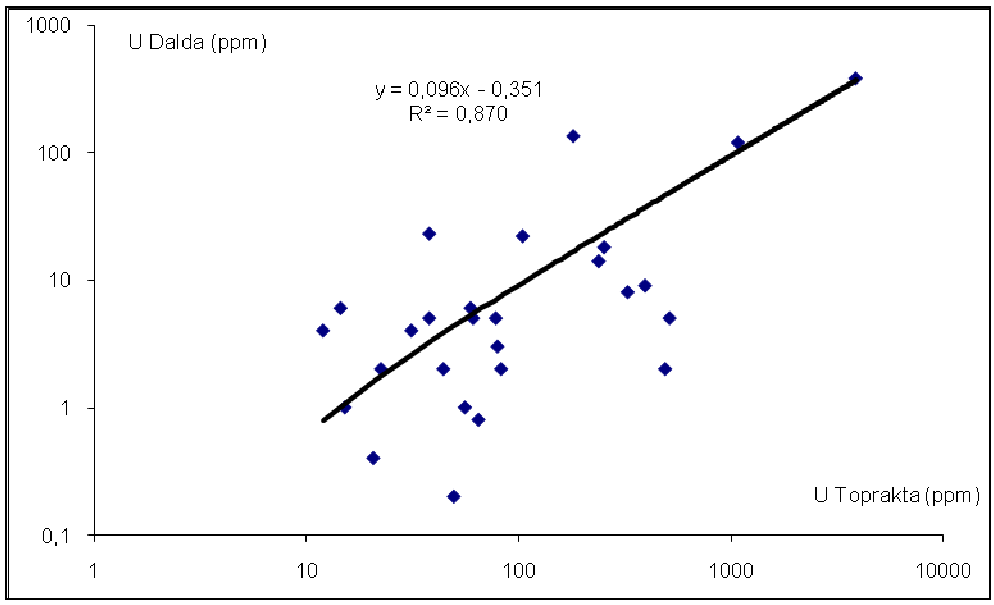
Tablo 4.1. Çalışma alanında uranyum ile diğer elementler arasındaki korelasyon ilişkileri.

	U	Th	Sr	Cd	Sb	Bi	P	La	Ba	Mo	Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mn	Fe	As	Tl	Se
U	1,00																				
Th	-0,01	1,00																			
Sr	-0,09	0,11	1,00																		
Cd	0,20	-0,22	-0,09	1,00																	
Sb	-0,16	-0,04	0,15	-0,17	1,00																
Bi	-0,13	0,24	0,40	-0,35	0,53	1,00															
P	-0,04	0,68	0,20	-0,15	0,25	0,45	1,00														
La	0,14	0,05	-0,12	-0,05	-0,47	-0,46	-0,24	1,00													
Ba	-0,04	-0,31	0,39	-0,15	-0,30	0,07	-0,32	0,09	1,00												
Mo	-0,11	0,32	-0,05	0,42	0,00	-0,10	-0,01	-0,35	-0,21	1,00											
Cu	**0,94**	-0,15	-0,08	0,23	-0,11	-0,11	-0,16	0,11	0,02	-0,07	1,00										
Pb	**0,81**	0,15	-0,04	0,18	-0,20	-0,28	-0,04	0,30	-0,13	-0,03	0,66	1,00									
Zn	-0,20	0,13	-0,15	-0,08	0,13	0,16	0,25	-0,46	0,20	0,24	-0,12	-0,30	1,00								
Ag	0,01	-0,28	-0,06	0,23	-0,06	-0,08	-0,23	0,24	0,26	-0,09	0,07	-0,03	-0,03	1,00							
Ni	-0,19	0,55	0,15	-0,17	0,20	0,26	0,33	-0,52	-0,04	0,64	-0,17	-0,15	0,65	-0,29	1,00						
Co	-0,09	0,42	0,04	-0,11	-0,05	0,02	0,04	-0,17	-0,02	0,68	-0,02	-0,09	0,41	-0,23	0,79	1,00					
Mn	-0,19	0,29	0,06	-0,19	0,08	0,31	0,32	-0,38	0,05	0,22	-0,16	-0,26	0,51	-0,31	0,59	0,47	1,00				
Fe	0,21	-0,03	0,06	0,24	-0,06	-0,06	-0,01	0,04	0,10	0,29	0,23	0,30	0,20	0,43	0,15	0,18	-0,13	1,00			
As	0,19	0,56	0,24	0,20	-0,01	0,15	0,39	-0,41	-0,14	0,74	0,16	0,27	0,26	-0,18	0,70	0,51	0,23	0,46	1,00		
Tl	0,28	0,11	-0,12	-0,09	-0,11	-0,43	-0,24	0,53	-0,02	-0,06	0,23	0,60	-0,26	0,17	-0,16	-0,02	-0,30	0,24	-0,01	1,00	
Se	0,29	0,35	0,29	0,11	-0,17	-0,05	0,09	0,21	-0,01	0,25	0,31	0,53	0,02	-0,07	0,27	0,32	0,16	0,50	0,52	0,51	1,00

Çalışma alanındaki topraklar ile bitki kök ve dalları arasındaki korelasyonlar şekil 4.2. ve 4.3.'de verilmiştir. Bu şekillerden de görülmektedir ki topraktaki uranyum miktarı arttıkça, kökteki uranyum miktarı artmaktadır (Şekil 4.2). Benzer durum topraki uranyum ve bitki dalındaki uranyum arasında da gözlenmektedir (Şekil 4.3.).



Şekil 4.2. Çalışma alanındaki toprak ve bitki kökü arasındaki uranyum korelasyonu.



Şekil 4.3. Çalışma alanındaki toprak ve bitki dalı arasındaki uranyum korelasyonu.

4.2. Bitkide Uranyum

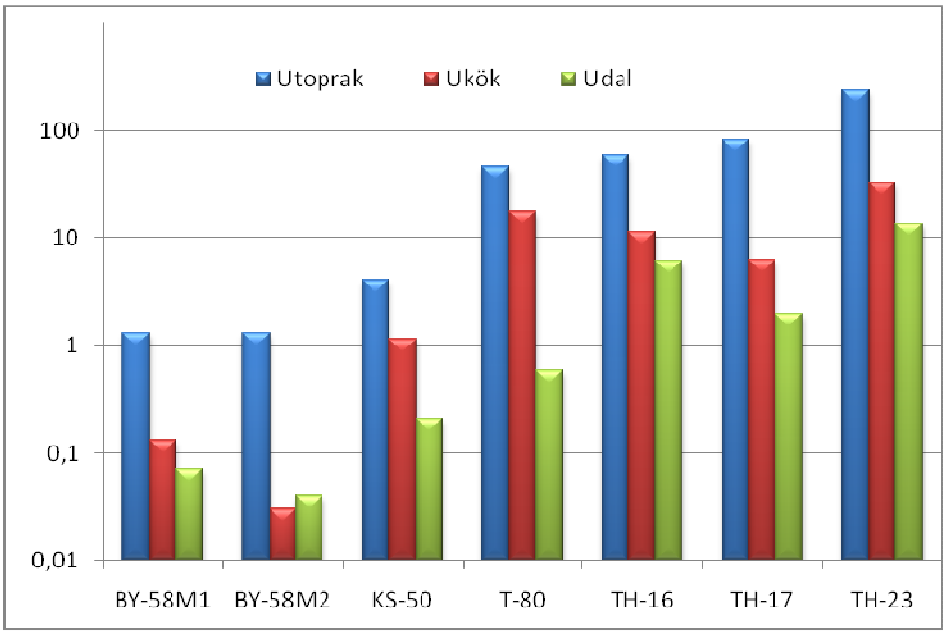
Köprübaşı uranyum yatağı üzerinde ve çevresinde, çeşitli ağaç türleri, bir yıllık ve çok yıllık olmak üzere otsu bitkiler yetişmektedir. Yörede yaygın olarak gözlenen bitkiler toplanmıştır. Bu bitkiler, kök sistemlerinin beslendiği topraklarla birlikte alınmıştır. Daha sonra laboratuarda kök, gövde, dal, yaprak ve tohum olmak üzere çeşitli bölümlere ayrılarak yıkanmış, kurutulmuş, yakılarak kül haline getirilmiş ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları kül esasına göre yapılmıştır ancak bu analiz sonuçları, kül olma miktarı dikkate alınarak kuru madde esasına dönüştürülmüştür. Yöredeki bitki kuru maddesinin kül olma miktarları 300 ^{o}C' de yaklaşık tüm bitkiler için benzerdir ve % 40-42 arasında değişmektedir. Yani 100 gramlık bir kuru maddeden yaklaşık 40-42 gram arasında beyaz kül elde edilmiştir. Bu küller daha sonra ICP-MS'de analiz edilmiştir. Ortaya çıkan analiz sonuçları daha sonra bitkilerin kül olma miktarları dikkate alınarak kuru madde esasına dönüştürülmüş ve tüm hesaplama ve yorumlamalar bu esasa göre yapılmıştır. Yörede yaygın olarak gözlenen *Quercus robur* L. (meşe), *Olea europeae* L. (zeytin), *Pictacia lentiscus* L (sakız ağacı), *Anchusa, Althaea (hatmi çiçeği), Triticum sativum (buğday), Hordeum vulgare L.* (arpa), *Asteraceae (dikenli ot), Brassicaeae* (baklagiller), *Cistus creticus* (Girit ladeni), *Asphodelus aestivus* (çirişotu), *Fragaria vesca* L. (çilek), *Capsicum annuum L. (biber), Fabaceae, Ocimum (fesleğen), Papaver rhoeas (gelincik), Papaver somniferium (haşhaş),Urtica dioica (ısırganotu), Phragmatis australis (kamış), Astragalus (geven), Liliaceae (zambak), Lactuca sativa (marul), Onopordon (kangal), Anthemis (papatya), Saponaria officinalis (sabunotu), Portulaca oleracea (semiz otu), Verbascum (sığırkuyruğu), Nicotiana tabacum* L. (tütün), *Allium cepa (soğan), Allium sativum (sarımsak), Teucrium polium* L. (tüylü kısamahmut) ve *Trifolium arvense* L. (üçgül)' nin biyolojik ve jeokimyasal özellikleri aşağıda verilmiştir.

***Quercus robur* L.** (Meşe)

Quercus robur L., 25 m.'ye kadar boylanabilen yaprak dökücü ağaçtır (Şekil 4.4). Genç sürgünler açık kahverengi veya kırmızımsı kahverengidir.. Meyveleri bir yılda olgunlaşır. 2 alt türü mevcuttur: ssp. **robur-** Kuzeybatı ve Güney Anadolu'da yayılış gösterir ve yaprakları çok kısa saplıdır; ssp. *pedunculiflora* (C.Koch) Menitsky. Doğu ve Güneydoğu Anadolu'da yayılış gösterir ve yaprakları uzun saplıdır (Şekil 4.4.) (Seçmen vd., 1989).

Quercus robur'un topraklarının ortalama uranyum içeriği 62± 22.09 ppm olarak tespit edilmiştir. Uranyum kökte ortalama 9.89 ± 8.59 ppm, dalda ise ortalama 3.24± 0.25 ppm seviyesinde belirlenmiştir. *Quercus robur*'un, topraklarındaki uranyum fazla olmasına karşın, çok az oranda bünyesine uranyum aldığı tespit edilmiştir. Bitki kısımlarını dikkate aldığımızda ise köklerin dallara göre daha fazla oranda uranyum biriktirdiği görülmüştür (Şekil 4.5.). *Quercus robur*'un köklerinin zenginleşme katsayısı 0.16, dallarının zenginleşme katsayısı 0.05 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.4. *Quercus robur*'un dal, yaprak ve kozalağının yakından görünüşü.



Şekil 4.5. *Quercus robur*'un toprağı ile bitki kısımları arasındaki uranyum dağılımı.

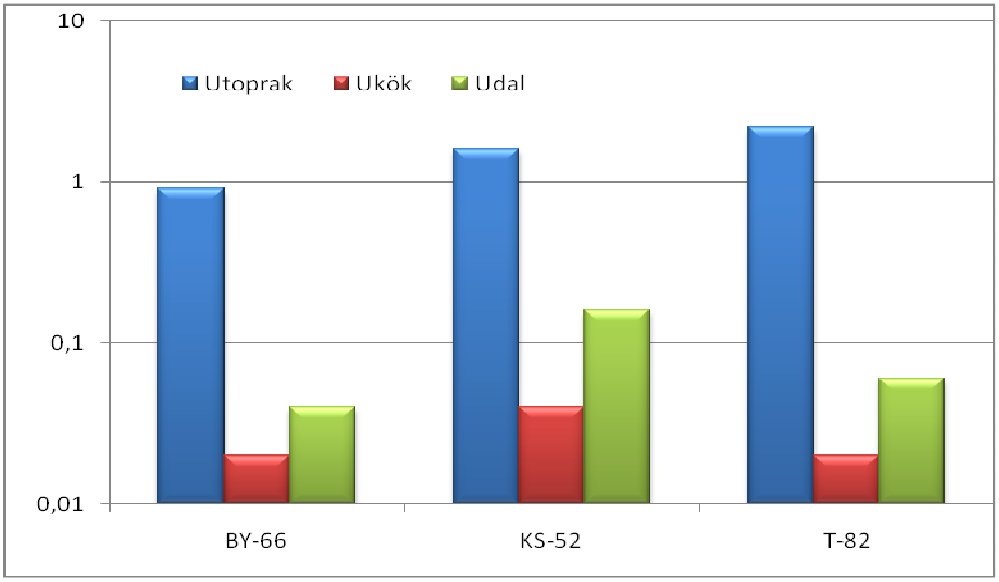
(BY: Beynamaz, KS: Kasar, T: Topallı, TH: Taşharman)

Olea europaea L. (Zeytin),

Daha ziyade Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü yerlerde yayılış gösteren 10-15 m. boyunda ağaçlardır (Şekil 4.6.). Meyva ovattan oblonga kadar değişen bir drupadır. Ülkemizde iki varyetesi bulunur: Var. **europaea** Zhukovsky ve var. **sylvestris** (Miller) Lehr. Her ikisi de Kuzey, Batı ve Güney Anadolu'da yayılış göstermektedir (Seçmen vd., 1989). *Olea europaea,* çalışma alanında meşeden sonra en yaygın olarak gözlenen ağaçlardandır. Kayran ve Killik yöresinde yeni zeytin ağaç bahçeleri yaygın olarak oluşturulmaktadır. Özellikle Kayran yöresindeki uranyum yatağının bulunduğu alan zeytin bahçesine dönüştürülmüştür. *Olea europaea'* nin topraklarının ortalama uranyum içeriği 1.57± 0.65 ppm'dir (Şekil 4.7.). Kökte 0.027± 0.01 ppm, dalda ise 0.087± 0.06 ppm' dir. *Olea europaea'* nin topraklarındaki uranyum fazla olmasına karşın, bitki çok az oranda bünyesine uranyum almıştır. Bitki kısımlarının ise dallarının köklere göre daha fazla oranda uranyum topladığı görülmektedir (Şekil 4.7.). Yaklaşık dalda toplanan uranyum köke göre ortalama olarak 3.22

kere daha fazladır. Bu da göstermektedir ki uranyum kökte tutulmaktansa daha çok dal ve yapraklara doğru gönderilmektedir. *Olea europaea*'nın köklerinin zenginleşme katsayısı 0.02, dallarının zenginleşme katsayısı 0.04 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.6. *Olea europaea'* in dal, yaprak ve zeytinin yakından görünüşü.



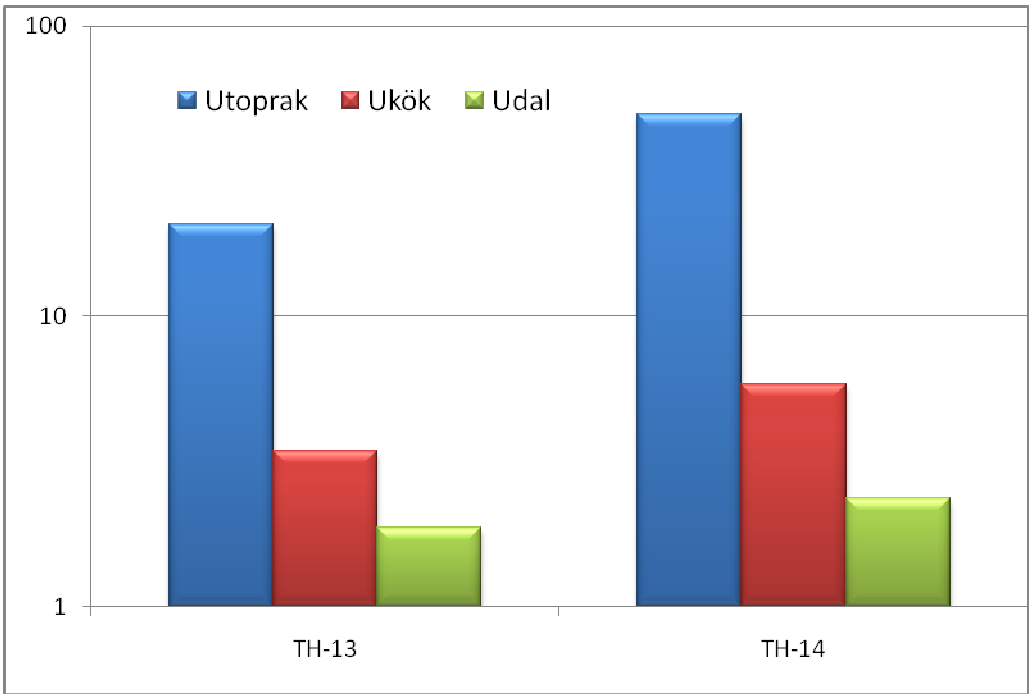
Şekil 4.7. *Olea europaea'* in toprağı ile bitki kısımları arasındaki uranyum dağılımı. (BY: Beynamaz, KS: Kasar, T: Topallı)

Pistacia lentiscus L. (Sakız ağacı)

Pistacia lentiscus, Anacardiaceae familyasına ait, güçlü karekteristik aroma ve yaprakları olan ve pek çok Akdeniz ülkelerinde yetişen bir bitkidir (Zrira vd., 2003). Sakız ağacının havada kalan kısımları ticari olarak tansiyonun iyileştirilmesinde, idrar söktürücü ve uyarıcı olarak kullanılmaktadır (Bentley ve Trimen, 1980). Ayrıca bu bitkinin antioksidant özellikleri de çalışılmış ve rapor edilmiştir (Baratto vd., 2003). **chia** Duham çeşidinin gövdesi yarılarak sakız elde edilir. (Seçmen vd., 1989). Yörede yabani olarak yetişen bu ağaç üzerine Antep fıstığı aşılanarak, fıstık üretilmektedir (Şekil 4.8.).

Pistacia lentiscus'un toprağında uranyum ortalama olarak 35.15± 20.43 ppm, kökünde 4.63± 1.66 ppm, dallarında ise 2.11± 0.36 ppmdüzeyinde tespit edilmiştir (Şekil 4.9.). *Pistacia lentiscus*'un köklerinin zenginleşme katsayısı 0.13, dallarının zenginleşme katsayısı 0.06 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.8. *Pistacia lentiscus* ağacının yakından görünüşü.



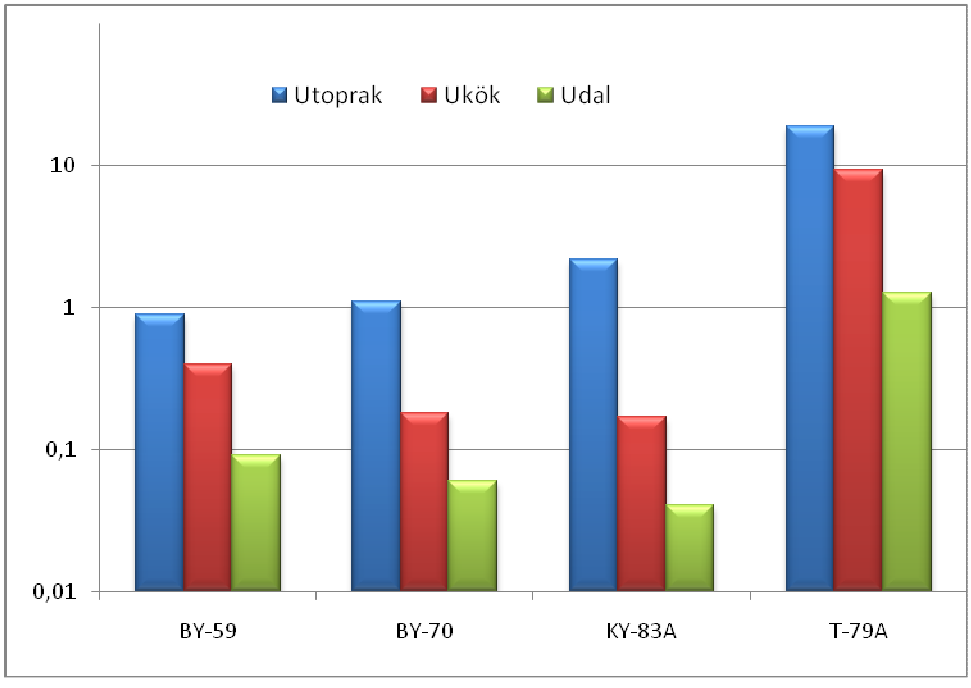
Şekil 4.9. *Pistacia lentiscus*' un toprak, kök ve daldaki uranyum değerleri. (TH: Taşharman)

Anchusa L. (Sığırdili)

Bir, iki veya çok yıllık otsulardır (Şekil 4.10.). Korolla huni şeklinde ışınsal veya bazen zigomorf simetrili, boğazı pulludur. Stamenler korolla tüpünün ortasına yakın veya üst kesimine bağlı, tüpün içinde, Akdeniz Bölgesi, Güney Afrika (Kap Bölgesi) ve Habeşistan'da yayılış gösterir ve yaklaşık 50 türü vardır. Ülkemizde 15 türü bulunur, bunlardan *A. azurea* Miller yol kenarlarında çok rastlanılan çok yıllık bir türdür (Seçmen vd., 1989).

Anchusa, çalışma alanında Kayran, Beynamaz, Kasar ve Killik yöresinde yaygın olarak görülmektedir (Şekil 4.11.). *Anchusa*'nın topraklarının ortalama uranyum içeriği 5.78± 8.76 ppm'dir (Şekil 4.11). Kökte 2.52± 5.29 ppm, dalda ise 0.36± 0.55 ppm'dir. *Anchusa'* nın topraklarındaki uranyum fazla olmasına karşın, bitkinin dalı çok az oranda bünyesine uranyum almıştır. Bitki kısımlarından köklerin dallara göre daha fazla oranda uranyum topladığı görülmektedir (Şekil 4.11.). *Anchusa*'nın köklerinin zenginleşme katsayısı 0.56, dallarının zenginleşme katsayısı 0.22 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.10. *Anchusa*' nın yakından ve uzaktan görünüşü.



Şekil 4.11. *Anchusa*' nın toprak, kök ve dalındaki uranyum değerleri.

(BY: Beynamaz, KY: Kayran, T: Topallı)

***Althaea* L.** (Hatmi çiçeği)

Alcea'ya benzeyen, fakat çiçekleri daha küçük olan bir türdür (Şekil 4.12.). Genellikle ılıman bölgelerde yayılış gösterir ve 20 kadar türü vardır. Ülkemizde 4 türü bulunur. Bunlardan A.cannabina L. (kenevir hatmi) yaprakları 3-5 loplu ve A. Officinalis L. (tıbbi hatmi) yaprakları 3 köşeli, tam veya hafif 3 loplu olup en yaygın olanlarıdır (Seçmen vd., 1989).

Çalışmanın hemen hemen her yerinde sıkça gözlenen bu bitkiden sadece bir örnek analiz edilmiştir. Buna göre bu örneğin toprağında ortalama 1.3ppm, kökünde 0.47 ppm ve dalında ise 0.1 ppm uranyum gözlenmiştir. Bu şekliyle, örnek sayısı az olmasına karşın, *Althaea*'nın uranyumu bünyesinde az miktarda biriktirdiği görülmektedir.

Şekil 4.12. *Althaea'* nın yakından görünüşü.

Triticum sativum L. (Buğday)

Bir yıllık otsu bir bitkidir. Çiçek durumu yoğun bir spikadır. Spikulalar her nodyumda tek ve 2-6 (9) çiçekli, üstteki 7 veya 2 çiçek genellikle verimsizdir. Glumalar trunkattır. Lemma derimsi, palea zarsı ve 2 gagalıdır. Ülkemizin genellikle iç kesimlerinde kültürü yapılır ve birçok kültür varyetesi vardır (Seçmen vd., 1989).

Çalışmanın hemen her bölgesinde ekim ve hasatı yapılan bir bitkidir (Şekil 4.13.). Buğday bitkisinden sadece bir örneğin kimyasal analizi yapılmıştır. Bu örnek Beynamaz bölgesinden alınmıştır ve toprağında 3.7, kökünde 1.39, dalında ise 0.03 ppm uranyum saptanmıştır. Buğdayın kökünde bir miktar uranyum içermesine karşın gövde ve tohumunda ise çok az uranyum içerdiği belirlenmiştir.

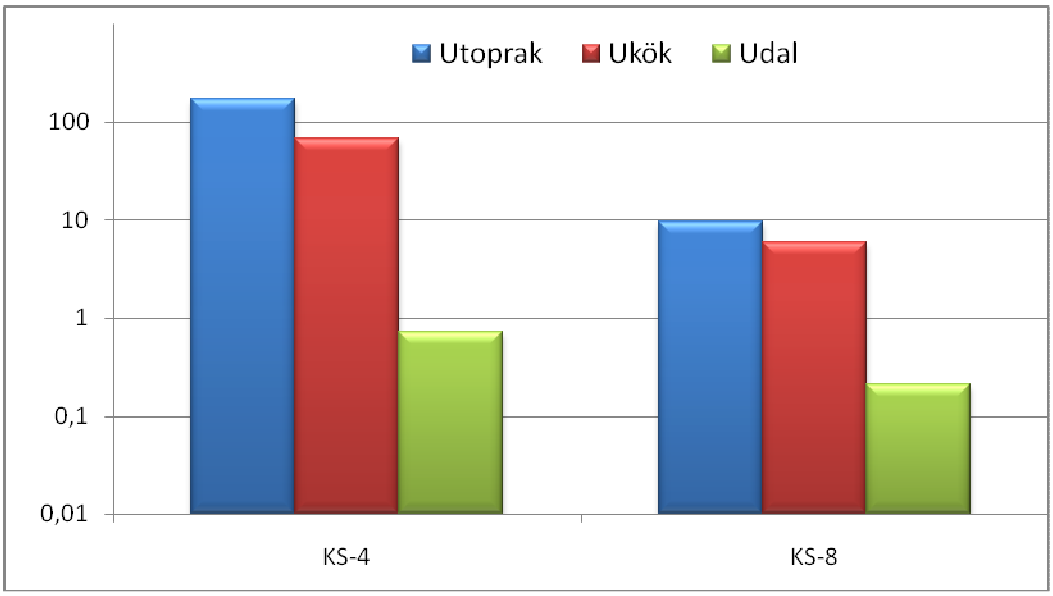
Şekil 4.13. *Triticum sativum'* un yakından görünüşü.

Hordeum vulgare L. (Arpa)

Bir yıllık otsu bitkidir (Şekil 4.14.). Çiçek durumu basık, lineardan oblonga kadar değişen bir spika, her nodyumda 3 spikulalı, glumalar kılçıklı, yarı kozmopolit olup, 20 kadar tür içermektedir. *H. vulgare* L. Ülkemizde geniş oranda kültürü yapılan tek yıllık bir bitkidir (Seçmen vd., 1989).

Arpa, tıpkı buğday gibi bölgede ekim ve hasatı yapılan bir bitkidir ve bölgede çok geniş alanlarda ekimi yapılmaktadır. Kasar Bölgesi'nden kimyasal analiz amaçlı iki örnek alınmıştır. Bu arpaların toprağında ortalama olarak 89.9± 113.42 ppm, kökünde 36.96± 43.95 ppm, dalında ise 0.47± 0.36 ppm'dir. Buradan da görülmektedir ki arpanın topraklarının uranyum içeriği oldukça fazladır ve kökte önemli bir uranyum birikmesi olmuştur ancak kök uranyumu bitkinin üst kısmına göndermemiştir. Arpanın dal ve tohum kısmında ise oldukça düşük uranyum gözlenmiştir (Şekil 4.15.). *H. Vulgare*'nin köklerinin zenginleşme katsayısı 0.44, dallarının zenginleşme katsayısı 0.005 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.14. *Hordeum vulgare*'un yakından görünüşü.



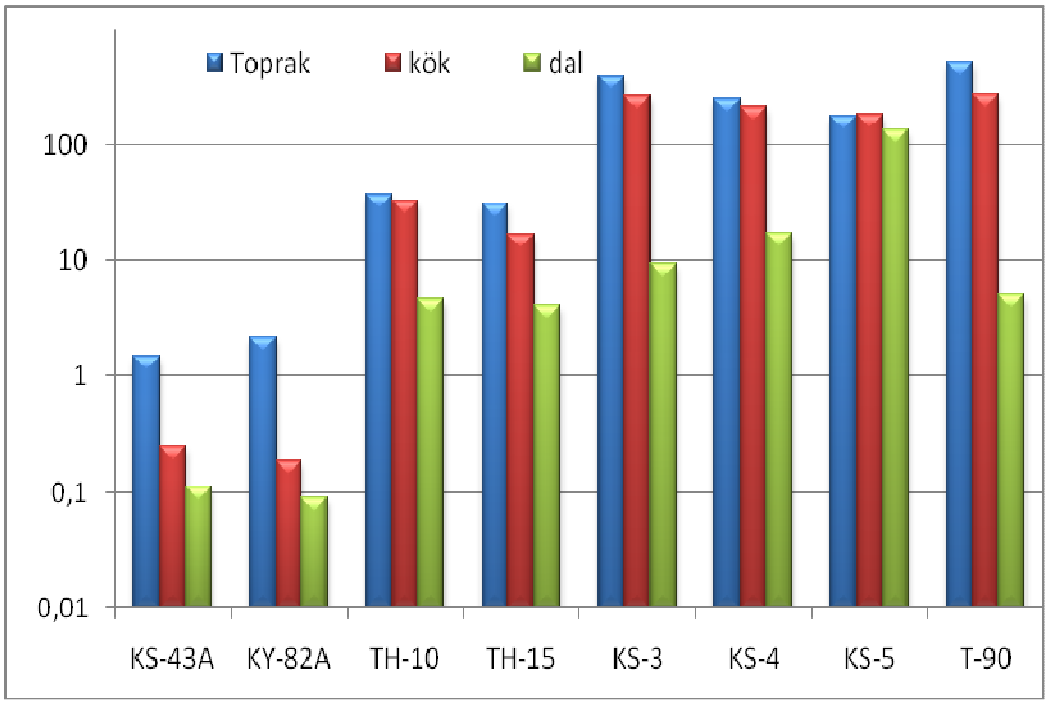
Şekil 4.15. *Hordeum vulgare'* un toprak, kök ve dalındaki uranyum değerleri.

(KS: Kasar)

Asteraceae (Papatyagiller)

Bazıları süt içeren otsular, çalılar veya nadiren ağaç veya tırmanıcılardır (Şekil 4.16.). Yapraklar genellikle alternat veya karşılıklı, nadiren dairesel, basit veya birleşik biçimdedir. Çiçekler kapitulum durumunda, kapitulumun çevresi 1- çok serili involukrum brakteleri ile örtülmüş, erdişi veya tek eşeyli, ışınsal veya zigomorf simetrilidir. Kaliks genellikle papus halini almış veya hemen hemen yok durumdadır. Korolla 2 şekilde, tüpsü ve dilsi; tüpsü korolla uçta belirgin 5 dişli, dilsi korolla 3-5 dişli veya dişler belirgin değildir. Stamenler 5, petallere bağlı, filamentler serbest, anterler birleşiktir. Pistil1, ovaryum alt durumlu, tek lokuluslu, 2 karpelli, ovül tek, anatrop, plasentasyon bazaldır. Meyve aken ve ucunda genellikle bir papus veya kaliks kalıntısı taşır. Kozmopolit olan familya yaklaşık 1100 cins ve 2500 kadar tür içermektedir. Ülkemizde 130 cins ve 1130 kadar türü bulunmaktadır. İlaç sanayinde kullanılır, birçok türü süs bitkisi olarak yetiştirilir (Seçmen vd., 1989).

Şekil 4.16. *Asteraceae*'nın arazide yakından görünüşü.



Şekil 4.17. *Asteraceae*'nın un toprak, kök ve dalındaki uranyum dağılımı.

(KS: Kasar, KY: Kayran, TH: Taşharman, T: Topallı)

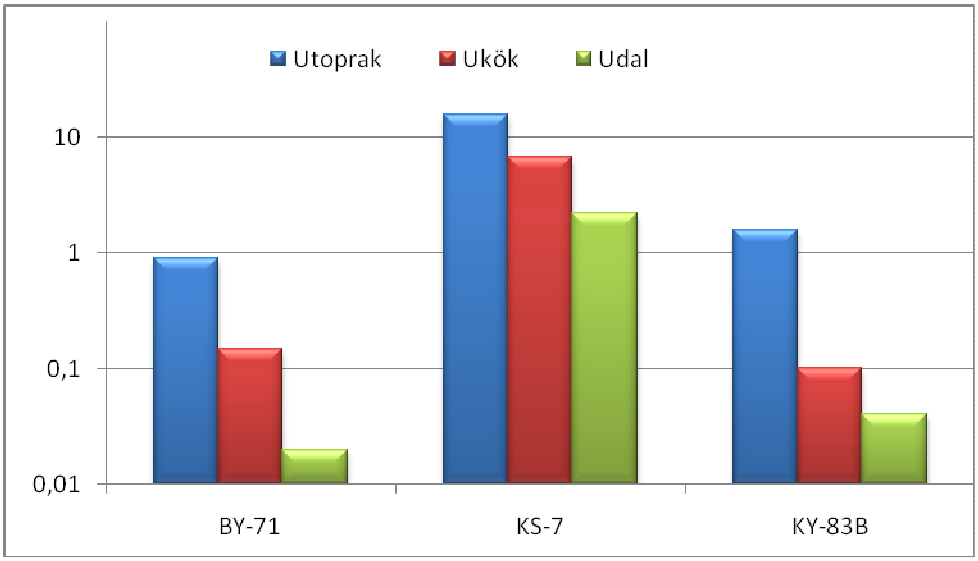
Fotoğrafta da görüldüğü gibi bol dikenli bir görünümü olan *Asteraceae*, bölgede oldukça geniş bir yayılıma sahiptir (Şekil 4.16.). *Asteraceae*'nın uranyum içeriğini belirlemek amacıyla Köprübaşı yöresindeki değişik sektörlerden örnekler alınmıştır. Örnekler, Kasar, Kayran, Taşharman ve Topallı çevresinden alınmıştır. Bu örneklerin toprağındaki ortalama uranyum içerikleri toprakta 177± 196 ppm, kökte 123.36± 22.98 ppm, dalda ise 21.91± 6.88 ppm'dir (Şekil 4.17.). Sonuçlara bakılırsa söz konusu bitkinin uranyum alım kapasitesinin oldukça düşük olduğu gözlenmektedir. *Asteraceae*'nın köklerinin zenginleşme katsayısı 0.11, dallarının zenginleşme katsayısı 0.03 olarak hesaplanmıştır.

Brassicaceae nigra L. (siyah hardalotu)

Brassicaceae nigra, 1-1,5 m. boyunda tek yıllık otsu bitkidir (Şekil 4.18.). Yaprakları uzun saplı ve iki yüzüde kaba tüylüdür. Çiçekler sarı beyaz ve sarı renklidir. Çoğunlukla Akdeniz Bölgesinde ve Orta Asya'da yayılış gösteren 100 türü bulunur. Ülkemizde 5 türü doğal yayılış göstermektedir. Bunların yanı sıra sebze olarak veya tohumlarından yağ elde etmek için kültüre alınmış bir çok türü vardır (Seçmen vd., 1989).

Brassicaceae nigra'dan uranyum içeriğini analiz etmek üzere bölgeden üç örnek derlenmiştir. Bu örnekler Beynamaz, Kasar ve Kayran bölgelerine aittir. Bu örneklerin topraklarında uranyum ortalama 6.13± 8.47 ppm, köklerinde 2.34± 3.84 ppm dallarında ise 0.76± 1.26 ppm 'dir (Şekil 4.19.). *Brassicaceae nigra*'nın köklerinin zenginleşme katsayısı 0.38, dallarının zenginleşme katsayısı 0.12 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.18. *Brassicaceae nigra*'nın arazide yakından görünüşü.



Şekil 4.19. *Brassicaceae nigra*'nın toprak, kök ve dallarındaki uranyum dağılımı.

(BY: Beynamaz, KS: Kasar, KY: Kayran)

Cistus creticus L.(Girit ladeni),

Cistus creticus, 1 m.'ye kadar boylanabilen çalılardır. Yaprakların üst yüzeyi yeşilimsidir. Çiçekler uç kısımda gevşek kimoz, pembe, 2-3 cm. çapındadır. Batı ve Güney Anadolu'da maki ve friganada yaygındırlar. Lokal olarak Karadeniz Bölgesi'nde görülürler (Seçmen vd., 1989). Çalışma alanında da hemen her bölgede gözlenmiştir. Kısa boyu ve pembe çiçekleri oldukça karakteristiktir (Şekil 4.20).

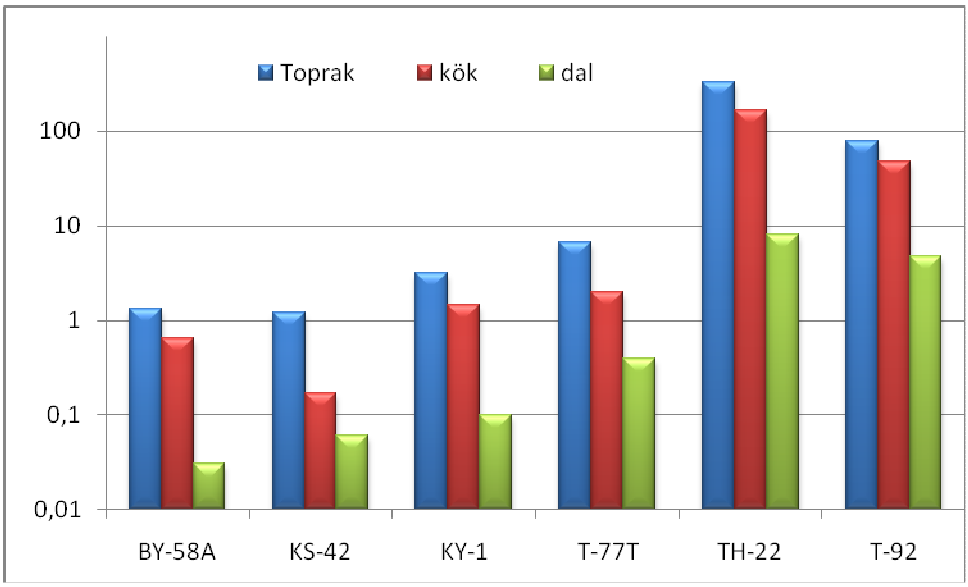
Bu bitkiden sadece bir örneğin kimyasal analizi yapılmıştır Buna göre; toprağında 0.7, kökünde 0.04, dallarında ise 0.02 ppm uranyum saptanmıştır.

Şekil 4.20. *Cistus creticus*'un arazide yakından görünüşü.

Asphodelus aestivus (Çirişotu),

Batı ve Güney Anadolu'da çok yaygın olan yumrulu otsudur (Şekil 4.21.). Yapraklar kaidede ve şeritsi şekildedir. Çiçekler pembe-beyaz ve zengin dallanma gösteren panikulalardadır (Seçmen vd., 1989). Çalışma alanında oldukça sık rastlanılmıştır.

Şekil 4.21. *Asphodelus aestivus*'un arazide yakından görünüşü.



Şekil 4.22. *Asphodelus aestivus*'un toprak, kök ve gövdesindeki uranyum dağılımı.

(BY: Beynamaz, KS: Kasar, KY: Kayran, T: Topallı, TH: Taşharman)

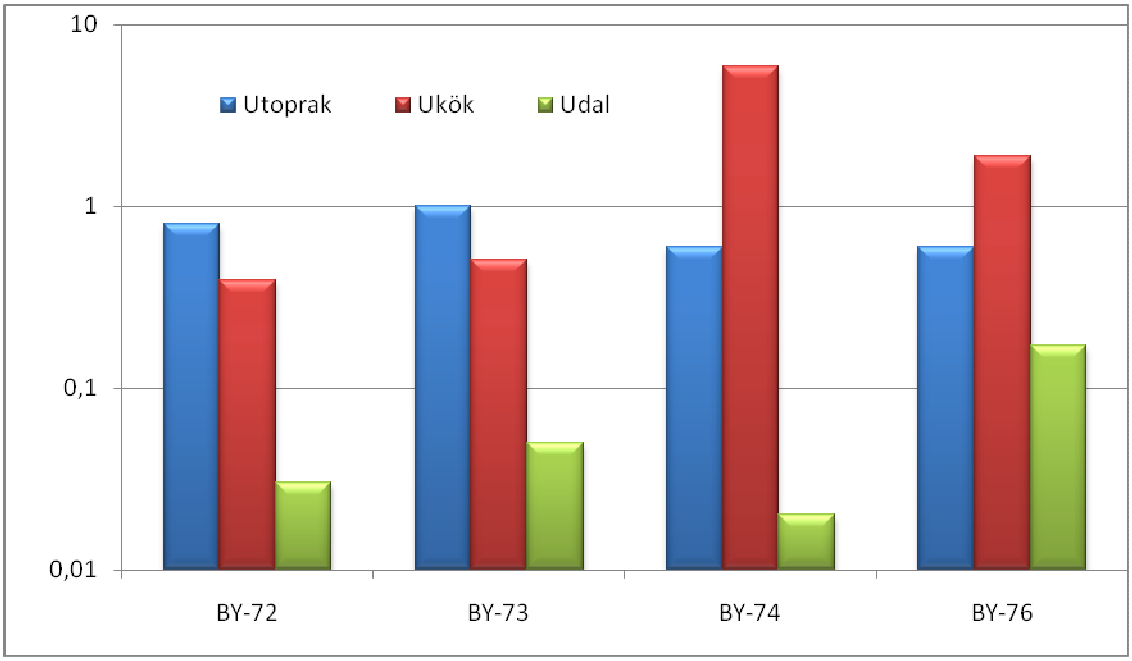
Yöreden kimyasal analizi yapılmak üzere 6 adet *Asphodelus aestivus* bitkisi toplanmıştır. Bu bitkiler farklı alanlardan toplanmaya çalışılmıştır. Uranyum bu bitkinin topraklarında ortalama olarak 69.56± 129 ppm, kök ve yumrularında 35.64± 37.81 ppm, dallarında ise 2.25± 9.04 ppm'dir (Şekil 4.22.). Özellikle eski işletme alanlarından olan Taşharman ve Topallı Bölgesi'nden alınan örneklerin topraklarının oldukça yüksek uranyum içerdiği görülmüştür. *Asphodelus aestivus*'un köklerinin zenginleşme katsayısı 0.29, dallarının zenginleşme katsayısı 0.08 olarak hesaplanmıştır.

Fragaria vesca L. (Çilek),

Toprak üstü stolonlu çok yıllık otsulardır (Şekil 4.23.). Yapraklar trifoliattır (Seçmen vd., 1989). Bölgenin en önemli geçim kaynaklarından birisidir, toplandıktan sonra yurtdışına ihraç edilmektedir. Çileklerin topraklarında uranyum ortalama olarak 0.75± 0.19 ppm'dir. Köklerinde uranyum ortalama 2.16± 2.55 ppm'dir. Dallarında ise ortalama 0.07± 0.07 ppm uranyum tespit edilmiştir (Şekil 4.24.). Bu örneklerden BY-74 ve BY-76'nın köklerinin diğer

örneklere kıyasla daha fazla uranyum içerdiği görülmüştür. Fragaria vesca'nın köklerinin zenginleşme katsayısı 2.88, dallarının zenginleşme katsayısı 0.09 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.23. *Fragaria vesca' nın* araziden görünüşü.



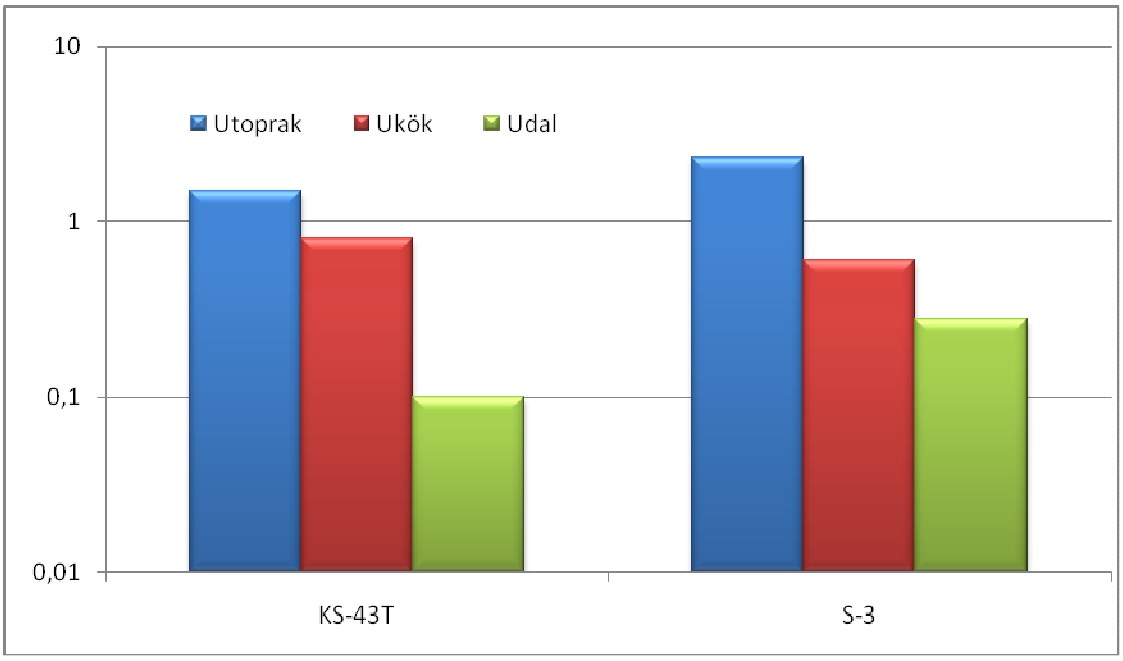
Şekil 4.24. *Fragaria vesca' nın* toprak, kök ve gövdesindeki uranyum dağılımı.

(BY: Beynamaz)

Fabaceae (Baklagiller),

Genellikle bir yıllık, bazen iki yıllık bitkilerdir (Şekil 4.25.). Yapraklar genellikle pinnat veya trifoliat, nadiren basit, stipüllüdür. Çiçekler erdişi, zigomorf simetrilidir. Sepaller 5, birleşik, petaller 5, serbest, üst petal genellikle büyük olup, veksillum (bayrakçık), kanat şeklindeki olan yandaki 2 petal (ala), alttaki 2 petal ise birleşmiş olup, karina (kayıkçık) adını alır. Çiçek tomurcuk halindeyken alalar karinayı, veksillum da alaları örter. Stamenler 10, serbest, monadelfus veya diadelfusdur. Meyva legümen veya lomentumdur. Kozmopolit olan familya 350 cins ve yaklaşık 10.000 tür içermektedir. Ülkemizde yaklaşık 61 cins ve 900'den fazla türü bulunmaktadır. İnsanlar ve hayvanlar için çok önemli olan gıda maddesi olan türleri vardır. Birçok türü de süs bitkisi olarak kullanılmaktadır ve hatta ilaç sanayinde de kullanılan türleri vardır (Seçmen vd., 1989).

Şekil 4.25. *Fabaceae' nın* arazideki görünüşü.



Şekil 4.26. Fabacea'*nın* toprak, kök ve gövdesindeki uranyum dağılımı.

(KS: Kasar, S: Saraycık)

Yöreden iki adet örnek alınmıştır. Bu örnekler Kasar ve Saraycık yörelerinden alınmıştır. Bu bitkinin toprağında uranyum ortalama olarak 1.9± 0.19 ppm, kökünde 0.7± 2.55 ppm, dalında ise 0.19± 0.07 ppm'dir (Şekil 4.26.). Fabacea'nın köklerinin zenginleşme katsayısı 0.37, dallarının zenginleşme katsayısı 0.1 olarak hesaplanmıştır.

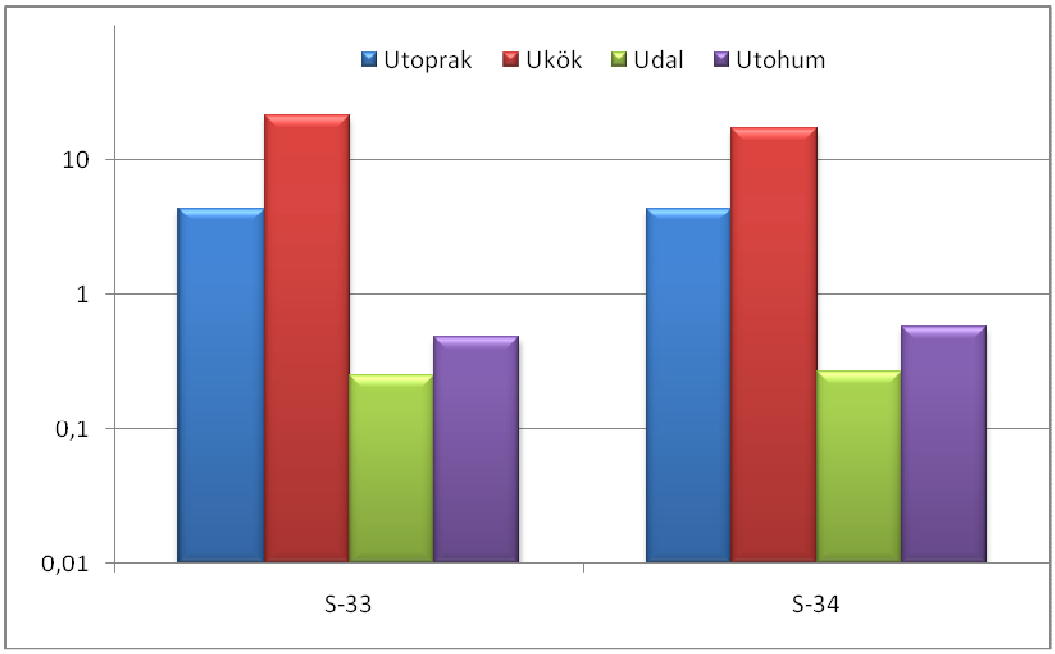
Capsicum annuum L. (Biber),

Capsicum annuum, tek yıllık otsu bir bitkidir (Şekil 4.27.). Çiçekler yaprak koltuklarında tektir. Meyve genellikle uzun bir bakkadır (Seçmen vd., 1989).

Capsicum annuum'un kimyasal analizi sonucu uranyum toprağında ortalama 4.3 ppm, kökünde 19.1±3.05 ppm, dalında 0.26± 0.01 ppm, tohumunda ise 0.53± 0.06 ppm'dir (Şekil 4.28.). *Capsicum annuum*'un köklerinin zenginleşme katsayısı 4.44, dallarının zenginleşme katsayısı 0.06, tohumlarının zenginleşme katsayısı ise 0.12 olarak hesaplanmıştır. Buradan da görülmektedir ki kök toprağa göre daha yüksek oranda uranyum toplamaktadır. Benzer şekilde tohum da dala göre daha yüksek uranyum içermektedir. Şimdiye kadar ki bitkiler

arasında uranyumu bünyesinde önemli oranda toplayabilen tek bitkidir. Bu bitki ise yöredeki insanlar tarafından besin olarak kullanılmaktadır. İçermiş olduğu uranyum miktarı insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilecek değerlere sahiptir. Bu açıdan değerlendirildiğinde böyle bitki türlerinin yenilmesi ve tüketilmesi insan ve çevre sağlığını olumsuz etkileyecektir.

Şekil 4.27. *Capsicum annuum* ‘un araziden görünüşü.



Şekil 4.28. *Capsicum annuum* 'un toprak, kök, gövde ve tohumundaki uranyumun dağılımı. (S: Saraycık)

Papaver rhoeas L. (Gelincik),

Tüm Türkiye'de yaygın olan ve genellikle çayırlıklarda, yol kenarında vb. yerlerde bulunan, kırmızı çiçekli, tek yıllık otsu bir bitkidir (Seçmen vd., 1989) (Şekil 4.29.) . Çalışma alanından alınan gelinciğin kimyasal analizi sonucu toprağında 1.1, kökünde 0.06, dalında ise 0.02 ppm uranyuma rastlanmıştır.

Şekil 4.29. *Papaver rhoeas*' in arazideki görünümü.

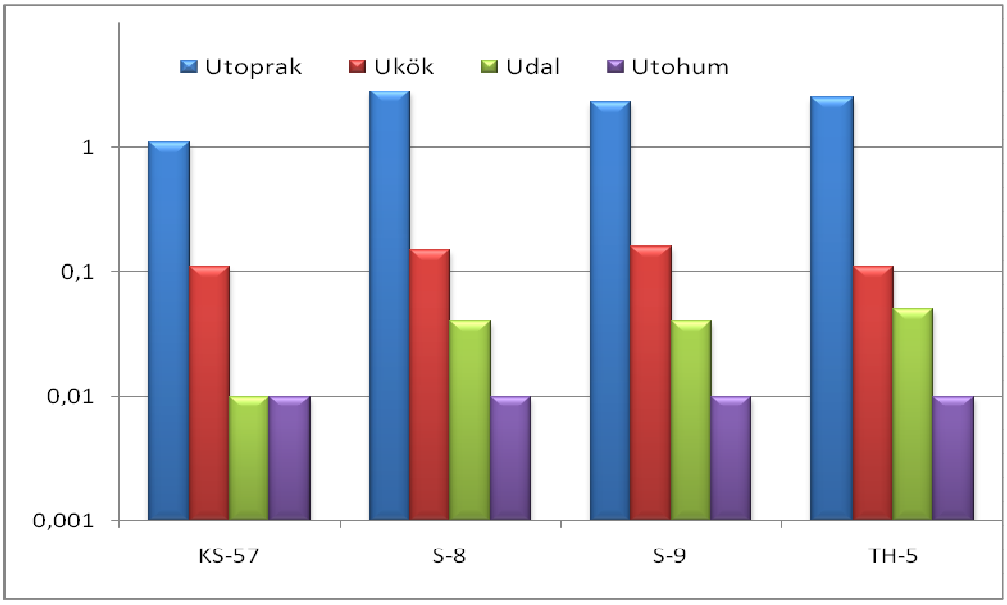
Papaver somniferum L. (Haşhaş),

Beyaz veya mor çiçekli, 30-120 cm. boyunda, beyaz bir süt içeren tek yıllık otsu bitkidir (Şekil 4.30.). İç Batı Anadolu'da kültürü yapılır. Kapsülleri tıp ve eczacılıkta çok kullanılan ve çeşitli alkoloidlerden (morfin gibi) oluşan bir drog içermektedir. Afyon henüz olgunlaşmamış kapsüllerin çizilmesiyle elde edilir. Keyif verici olarak kullanıldığında zararlı etkiler doğurduğundan, ekimi devlet denetimi altındadır (Seçmen vd., 1989).

Çalışma alanından alınan haşhaş örneklerinin toprağında uranyum ortalama 2.18± 0.75 ppm, kökte 0.13± 0.03 ppm, dalda 0.035± 0.02 ppm ve tohumunda ise 0.01 ppm'dir (Şekil 4.31.). Şekilden de görüldüğü üzere yörede yetişen haşhaş bitkisinde olağan üstü bir uranyum

birikimi gözlenmemiştir. Aksine, özellikle dal ve tohumunda çok az uranyum toplanmıştır. Papaver somniferum'un köklerinin zenginleşme katsayısı 0.06, dallarının zenginleşme katsayısı 0.06, tohumlarının zenginleşme katsayısı ise 0.02, tohumlarının zenginleşme katsayısı ise 0.005 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.30. *Papaver somniferum'* un tarladaki görünümü.



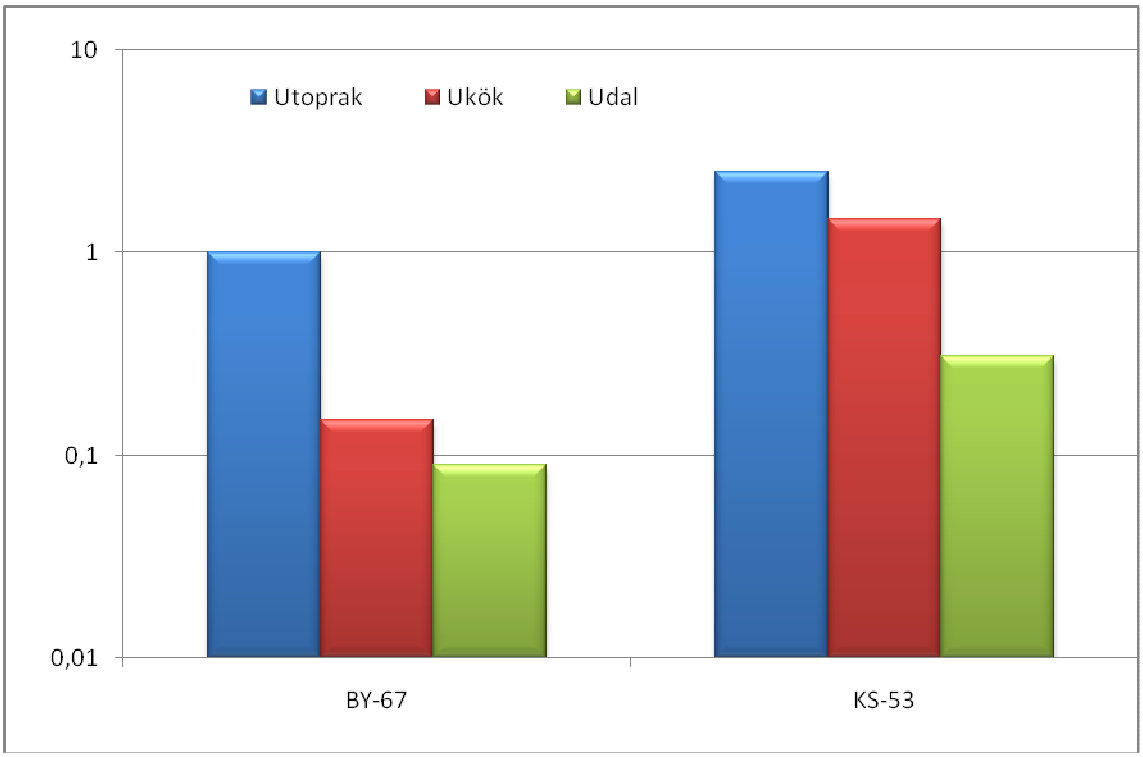
Şekil 4.31. *P. somniferum'* 'un toprak, kök, gövde ve tohumundaki uranyumun dağılımı. (KS: Kasar, S: Saraycık, TH: Taşharman).

Urtica dioica L. (Isırganotu),

Yakıcı tüyler taşıyan tek veya çok yıllık otsu bitkilerdir (Şekil 4.32.). Yapraklar karşılıklı, basit ve kenarları dişli, stipulalıdır. Çiçekler tek ve iki eşeylidir. Pariant 4 parçalı, erkek çiçeklerde periant parçaları eşit, dişi çiçeklerde dıştakiler çok küçüktür. Ilıman bölgelerde yayılış gösteren 35 türü ülkemizde ise 5 türü bulunmaktadır (Seçmen vd., 1989).

Urtica dioica, Kasar ve Beynamaz yörelerinden toplanmıştır. Bu örneklerin kimyasal analizi sonucunda toprakta 1.75± 0.50ppm, kökünde 0.81± 0.15ppm, dalında ise 0.2± 0.05 ppm uranyuma rastlanmıştır (Şekil 4.33.). *Urtica dioica*'nın köklerinin zenginleşme katsayısı 0.25, dallarının zenginleşme katsayısı 0.04 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.32. *Urtica*'nın yakından görünümü.



Şekil 4.33. *Urtica*'nın toprak, kök ve gövdesindeki uranyumun dağılımı.

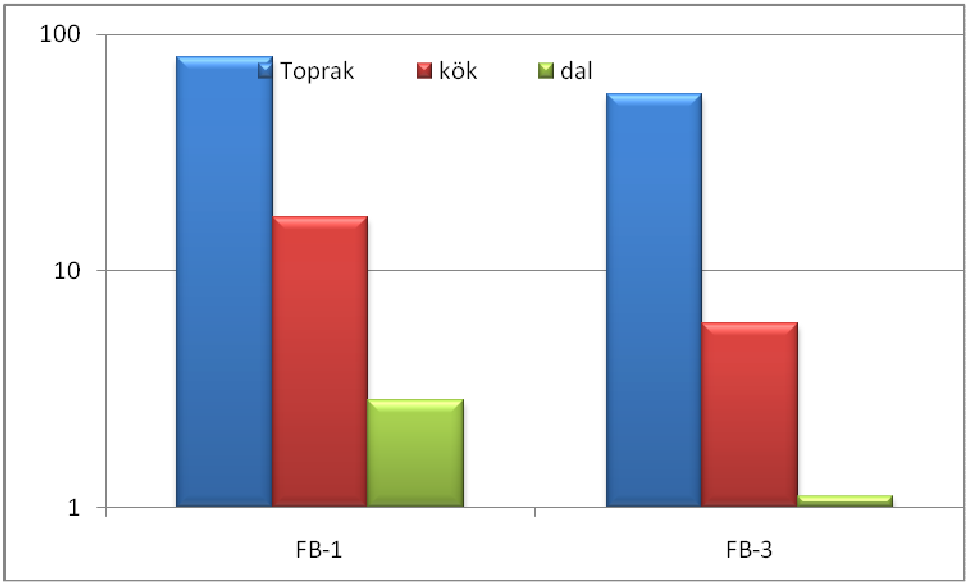
(BY: Beynamaz, KS: Kasar)

Phragmites australis L. (Kamış),

Arundo'ya çok benzerdir. Spikulalar 10 kadar çiçekli ve glumaların boyları eşit değildir. Ülkemizde su ve göl kenarlarında (Şekil 4.34.) ve su içlerinde çok yaygındır (Seçmen vd., 1989).

Phragmites australis'in toprakta 67.8± 45.20ppm, kökte 11.44± 9.75ppm, dalda ise 1.98± 0.50 ppm uranyum içerdiği tespit edilmiştir (Şekil 4.35.). *Phragmites australis*'in köklerinin zenginleşme katsayısı 0.32, dallarının zenginleşme katsayısı 0.04 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.34. *Phragmites australis*'in yakından görünüşü.



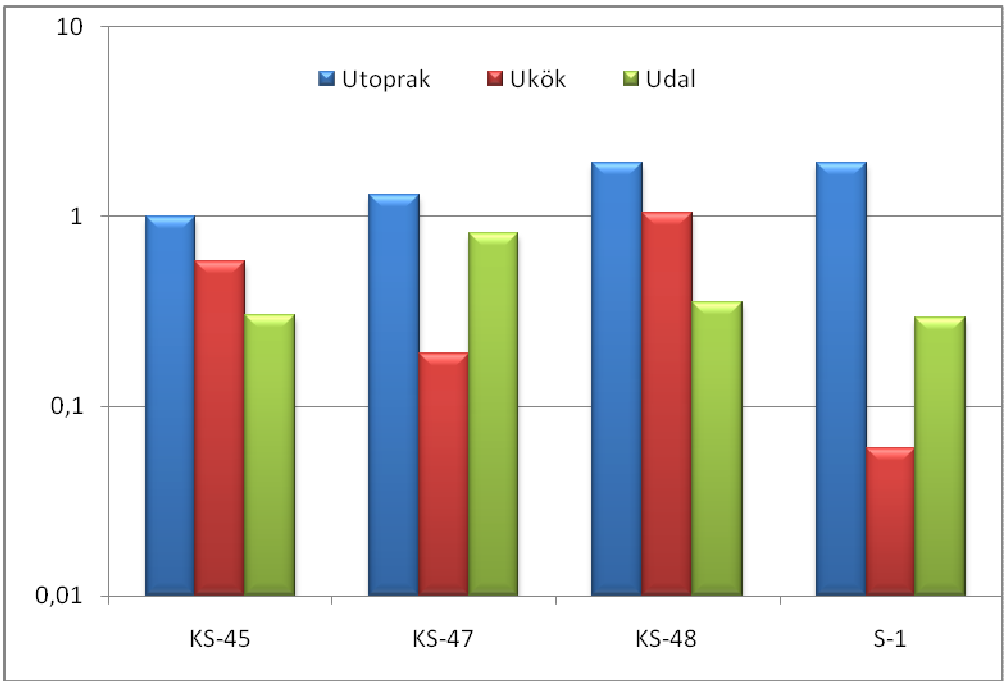
Şekil 4.35. *Phragmites australis*'in toprak, kök ve gövdesindeki uranyumun dağılımı. (FB: Zenginleştirme Tesisi)

***Astragalus* L.** (Geven)

Lokal ismi ‘’geven’’ olan *Astragalus*, bir veya çok yıllık otsu ve dikenli bitki türüdür (Şekil 4.36.). Çiçekleri yaprak koltuklarında, saplı veya sapsız spika veya rasemuslarda, nadiren tektir. 2000 kadar tür içermektedir. Bu türlerden yaklaşık 222’si endemik olup, ülkemizde doğal olarak yetişmektedir. Yüksek dağ katlarında ve steplerde yayılış göstermektedir. İlaç ve tekstil sanayinde oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir (Seçmen vd., 1989).

Astragalus, Köprübaşı çevresinde genellikle gölsel kireçtaşları ve kiltaşları üzerinde görülmektedir. Yöreden alınan *Astragalus*’un toprağında uranyum ortalama olarak 1.53± 0.45 ppm, kökte 0.47± 0.45ppm, dallarında ise 0.44± 0.25 ppm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.37.). Yöreden alınan iki örnekte dalda biriken uranyum miktarı köke göre daha fazla olmuştur. Keban bölgesinde doğal olarak yetişen *Astragalus*’ un ortalama olarak toprağında 7.8, dalında ise 1.51 ppm uranyuma rastlanmıştır (Sasmaz ve Yaman, 2008). *Astragalus*’un köklerinin zenginleşme katsayısı 0.31, dallarının zenginleşme katsayısı 0.29 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.36. *Astragalus*’ un yakından görünüşü.



Şekil 4.37. *Astragalus*' un toprak, kök ve dallarındaki uranyum dağılımı.

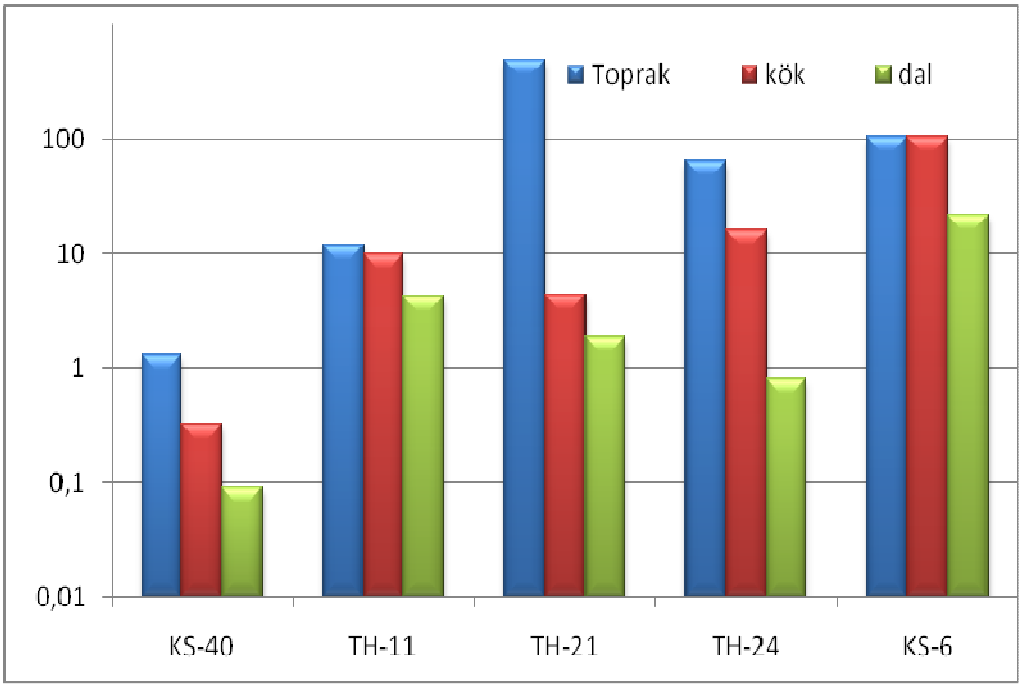
(KS: Kasar, S: Saraycık)

Onopordon bracteatum (Kangal dikeni),

Gövdeleri kanatlı, bir yıllık otsu dikenli bitkilerdir (Şekil 4.38.). Kapitula homogam ve diskoiddir. İnvolukrum brakteleri çok serili, genellikle uçları diken şeklindedir. Çiçek tablası uzun tüylüdür. Papus plumoz tüylü ve dipte bir halka şeklinde birleşiktir. Kuzey Yarıkürede yayılış gösteren ve 200 cıvarında tür içermektedir. Ülkemizde 52 türü bulunmaktadır. Bunlardan deve dikeni ülkemizde geniş yayılış göstermektedir (Seçmen vd., 1989).

Çalışma alanındaki kangal dikenlerinin kimyasal analizleri yapılmıştır. Toprakta uranyum ortalama 134.76± 203.46 ppm, kökte 27.39± 26.47 ppm, dalında ise 5.70± 4.84 ppm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.39.). Alınan örneklerden TH-21'in toprağının diğer örneklere kıyasla yüksek miktarda uranyum içerdiği görülmüştür. *Onopordon bracteatum*'un köklerinin zenginleşme katsayısı 0.15, dallarının zenginleşme katsayısı 0.03 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.38. *Onopordon bracteatum* dikenin yakından görünüşü.



Şekil 4.39. *Onopordon bracteatum* dikenin toprak, kök ve dallarındaki uranyum dağılımı.

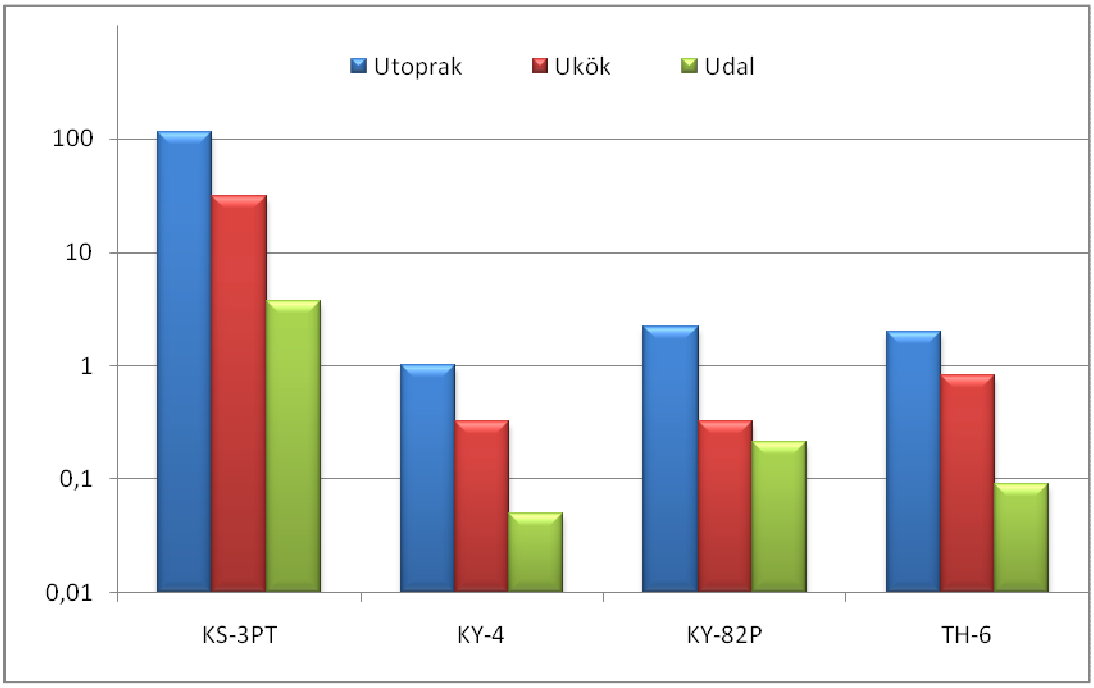
(KS: Kasar, TH: Taşharman)

Anthemis L. (Papatya),

Bir, iki veya çok yıllık otsu bitkilerdir (Şekil 4.40.). Yapraklar genellikle 1-3 pinnat, nadiren basittir. Dilsi çiçekler genellikle beyaz veya sarı renklidir. Akdeniz Bölgesi'nde yayılış gösteren yaklaşık 130 tür içermektedir. Ülkemizde 50 türü bulunmakta, bunlardan ***A. tinctoria*** L.(boyacı papatyası) yaygın olan sarıçiçekli çok yıllık otsu bir türdür (Seçmen vd., 1989).

Papatya çalışma alanının hemen her bölgesinde gözlenmiştir. Uranyum analizi için alınan örnekler Kasar, Kayran ve Taşharman bölgelerinden alınmıştır. Bu örneklerin topraklarında uranyum en çok 114± 56.09 ppm olarak ölçülürken, kökte 30.86± 15.19 ppm, dalında ise 3.7± 1.79 ppm tespit edilmiştir (Şekil 4.41.). Kasar bölgesinden alınan örneğin (KS-3PT) toprağının diğer bölgelerden alınan örneklere kıyasla daha fazla uranyum içerdiği görülmüştür. *Anthemis*'in köklerinin zenginleşme katsayısı 0.27, dallarının zenginleşme katsayısı 0.3 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.40. *Anthemis*'in yakından görünüşü.



Şekil 4.41. *Anthemis*'in toprak, kök ve dallarındaki uranyum dağılımı.

(KS: Kasar, KY: Kayran, TH: Taşharman)

Portulaca oleraceae L. (Semizotu),

Etli, bir yıllık bir bitkidir (Şekil 4.42.). Yapraklar altta alternat, üstte yoğun, tam ve sapsızdır. Sepaller dipte tüp şeklinde birleşmiş, petal 5 ve sarı renklidir. Ovaryum orta veya alt durumlu, meyva kapakla açılan bir kapsuladır. Ülkemizde Kuzeybatı ve Batı Anadolu'da doğal yayılış gösteren bu bitkinin kültürü de yapılmaktadır (Seçmen vd., 1989).

Çalışma alanında iki adet semizotunun analizi yapılmıştır. Bu analiz sonuçlarına göre ortalama toprakta 26.45, kökünde 5.2, dalında ise 1.05 ppm uranyum saptanmıştır.

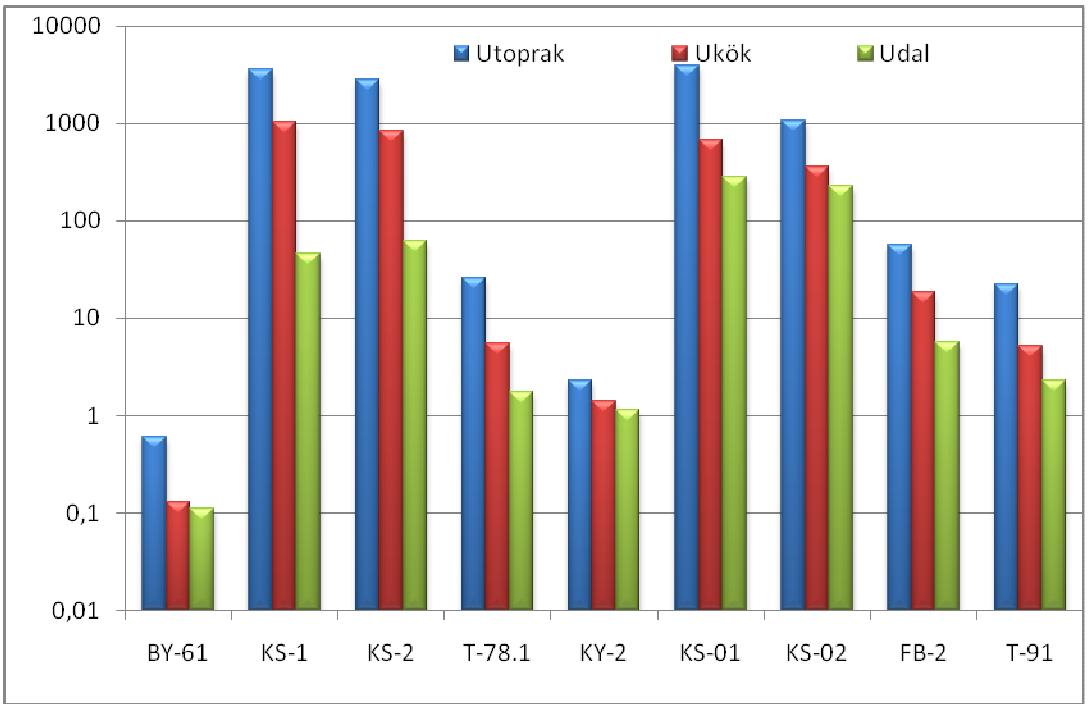
Şekil 4.42. *Portulaca oleraceae*' nin yakından görünüşü.

Verbascum L. (Sığırkuyruğu),

Bir, iki veya çok yıllık otsular, nadiren küçük çalılardır (Şekil 4.43.). Dip yaprakları rozet şeklinde, gövde yaprakları alternattır. Çiçekler uçta rasemus, spika veya panikulalarda, korolla sarı, nadiren mor, kahverengimsi-sarımsı veya mavimsi-yeşil renklidir. Stamenler 4 veya 5, bazen 4 verimli 1 staminod şeklinde bulunmaktadır. Anterler böbreksi veya oblik, filamentler tüylü veya tüysüzdür. Meyva septisit kapsula şeklindedir. Genellikle Akdeniz Bölgesi'nde yayılış göstermekte ve 300 kadar tür içermektedir. Ülkemizde ise 2202'den fazla tür ve 100'den fazla da hibriti bulunmaktadır (Seçmen vd., 1989).

Çalışma alanında oldukça sık gözlenmiştir. Bu bitkide uranyum toprakta ortalama 1274± 1671.23 ppm, kökte ortalama 325± 416.28 ppm, dalda ise 70± 108.54 ppm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.44.). Keban bölgesinde doğal olarak yetişmiş *Verbascum* bitkisinin ortalama olarak toprağında 5.1, kökünde 0.78, dalında ise 1.23 ppm uranyum gözlenmiştir (Sasmaz ve Yaman, 2008). Alınan örneklerden özellikle eski işletme alanlarından biri olan Kasar Bölgesi ve Zenginleştirme Tesisi bölgelerine ait örneklerin topraklarının yüksek uranyum içerdiği, benzer şekilde örneklerin bitki kısımlarınında diğer bölgelerden alınan örneklere kıyasla daha fazla uranyumu bünyesinde topladığı görülmüştür. *Verbascum*'un köklerinin zenginleşme katsayısı 0.25, dallarının zenginleşme katsayısı 0.05 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.43. *Verbascum*'un arazide yakından görünüşü.



Şekil 4.44. *Verbascum*'un toprak, kök ve dallarındaki uranyum değişimi.

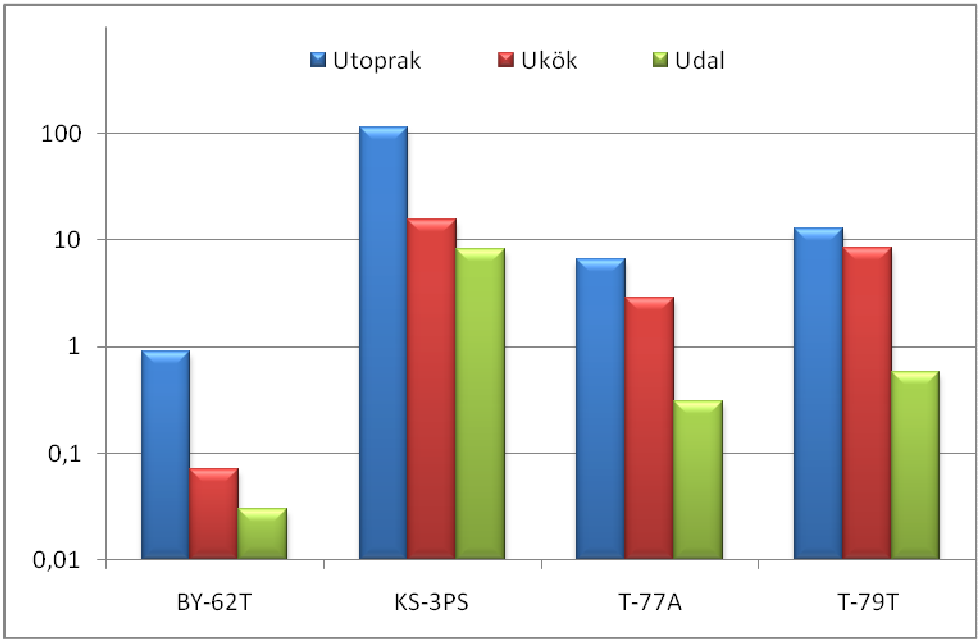
(BY: Beynamaz, KS: Kasar, T: Topallı, FB: Zenginleştirme Tesisi)

Trifolium arvense (Üçgül),

Bir veya çok yıllık otsu bitkidir (Şekil 4.45.). Yapraklar trifoliat veya nadiren digitattır. Stipül patiola yapışık, düz kenarlı veya dişlidir. Çiçekler saplı başcıklarda veya kısa rasemuslarda, nadiren tektir. Meyva genellikle kaliksin içindedir. Suptropik ve ılıman bölgelerde yayılış göstermekte ve 400 cıvarında tür içermektedir. Ülkemizde 94 türü bulunmaktadır, bunlardan *T.campestre* Schreb. oldukça geniş yayılışı olan veksilumları arkaya kıvrık sarı çiçekli bir türdür (Seçmen vd., 1989).

Çalışma alanından alınan *Trifolium arvense*'nin toprağında uranyum ortalama 33.55± 53.79 ppm, kökünde 6,80± 6.90 ppm, dallarında ise 2.31± 4 ppm olarak tespit edilmiştir. Kasar bölgesindeki örneğin toprağında 113.9 ppm, kökünde 15.7 ppm, dallarında ise 8.3 ppm uranyum içerdiği belirlenmiştir (Şekil 4.46.). *Trifolium arvense*'nin köklerinin zenginleşme katsayısı 0.2, dallarının zenginleşme katsayısı 0.07 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.45. *Trifolium arvense*'nin yakından görünüşü.



Şekil 4.46. *Trifolium arvense*'nin toprak, kök ve dallarındaki uranyum değişimleri.

(BY: Beynamaz, KS: Kasar, T: Topallı)

Nicotiana tabacum L. (Tütün),

Tek veya çok yıllık otsu bitkidir (Şekil 4.47.). Yapraklar tam, çiçekler uçta panikulalarda, korolla infundibular veya tüpsü, lopları yaygındır. Meyva septisit kapsula şeklindedir. Genellikle Güney Yarıkürede yaşayan 75 türü, ülkemizde ise 3 türü bulunmaktadır. Bunlardan Güney Amerika kökenli olan *N. glauca* Graham, küçük bir ağaç veya çalı olup yabani olarak yetişmektedir. Kuzey Amerika kökenli olan *N. rustica* L. (delitütün, Hasankeyf) ile Meksika ve Güney Amerika'nın kuzeyinde doğal yayılış gösteren *N. tabacum* L. (tütün). Ülkemizde kültür bitkisi olarak yetiştirilmektedir (Seçmen vd., 1989).

Yörede geniş alanlarda ekim ve hasatı yapılan *N. tabacum* 'un uranyum içeriğini saptamak amacıyla kimyasal analizi yapılmıştır. Buna göre sözkonusu bitkinin toprağında 4.3, kökte 0.87, dalda 0.24, tohumunda ise 0.46 ppm uranyuma rastlanmıştır.

Şekil 4.47. *N. tabacum* 'un yakından görünüşü.

Teucrium polium L. (Tüylü kısamahmut),

Çok yıllık (nadiren bir veya iki yıllık) otsular veya küçük çalılardır. Yapraklar tam veya parçalıdır. Çiçekler üst yaprakların koltuklarında rasemus, panikula veya başcıklarda bulunmaktadır. Kaliks 5 dişli, korolla tek dudaklı bir yapıya sahiptir. Stamenler 4 tanedir. Çoğunluğu Akdeniz Bölgesi'nde yayılış gösteren 200 türü, ülkemizde ise 27 türü bulunmaktadır. 10-40 cm boylarında, beyazımsı gri tüylerle örtülü, çalımsı çok yıllık otsudur (Şekil 4.48.). Yaprakları krenat, çiçekleri beyazımsı, küresel başcıklıdır ve tüm bölgelerde yayılım göstermektedir (Seçmen vd., 1989).

Teucrium polium'un kimyasal analizi sonucu toprağında 0.5, kökünde 0.67 ve dalında ise 0.11ppm uranyum saptanmıştır. *Teucrium polium*'un kökü, toprak ve daldan daha fazla uranyum toplanmıştır. Bu bitkinin kökü hiperakümülator bir özellik taşımaktadır. Çünkü topraktaki değerden daha yüksek oranda uranyum içermektedir. Aynı durumu bitkinin dalı

Şekil 4.48. *Teucrium polium*' un yakından görünüşü.

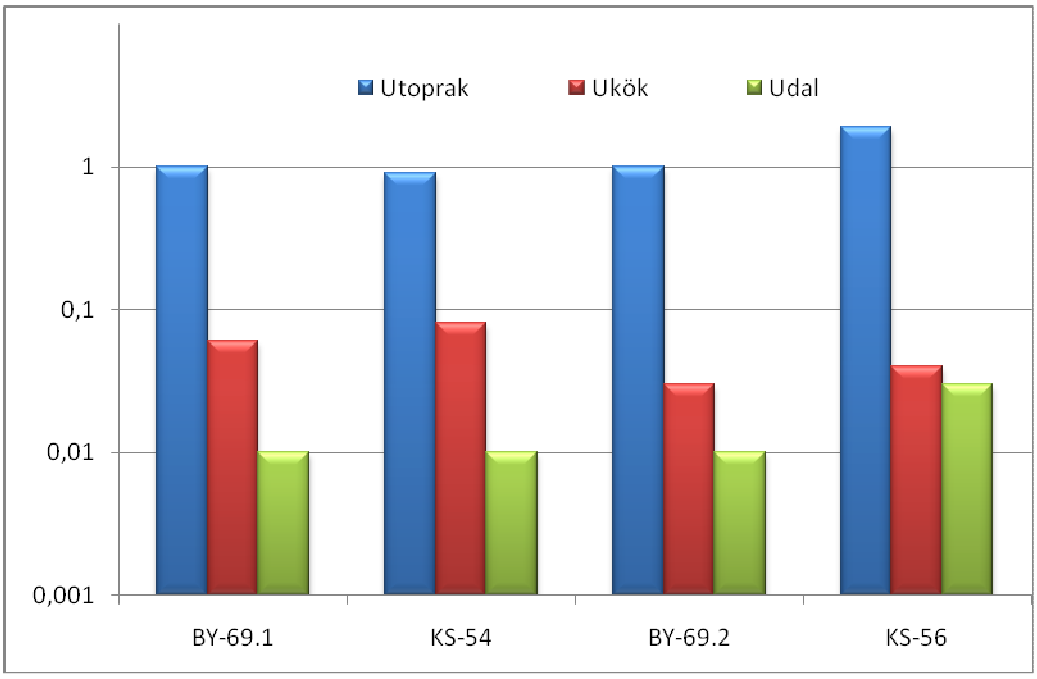
için söylemek zordur. Bu bitkinin uranyum veya başka metalleri alım kapasitesi ile ilgili literatürde herhangi bir çalışma bulunmamaktadır ancak bu bitkinin antioksidan özelliğini konu alan çok sayıda farmokolojik çalışma yer almaktadır.

Allium L., (Soğanlı bitkiler)

Soğanlı çok yıllık otsu bitkilerdir (Şekil 4.49.). Yapraklar ipliksiden ovata kadar değişik şekillerde bulunmaktadır. Kuzey ılıman bölgelerde yayılış göstermekte ve yaklaşık 350 türü bulunmaktadır. Ülkemizde ise 141 türü bulunmaktadır. Bazı türleri kültür edilerek gıda maddesi olarak kullanılmaktadır. *A. cepa* (soğan), *A. sativum* (sarımsak), *A. porrum* Don (pırasa) (Seçmen vd., 1989).

Çalışma alanından iki adet soğan ile iki adet sarımsak alınarak kimyasal analizi yapılmıştır. İlk iki örnek soğan son iki örnek ise sarımsaktır. Bu örneklerin topraklarında uranyum ortalama olarak 1.2± 0.47 ppm bulunmuştur. Köklerinde 0.053± 0.02 ppm, dallarında ise 0.015± 0.01 ppm uranyum tespit edilmiştir (Şekil 4.50). *Allium*'un köklerinin zenginleşme katsayısı 0.04, dallarının zenginleşme katsayısı 0.2 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.49. *A. cepa* ve *A. sativum*' un yakından görünüşü.



Şekil 4.50. *A. cepa* ve *A. sativum*' un toprak, kök ve dallarındaki uranyum değişimi. (BY: Beynamaz, KS: Kasar).

4.3. Suda Uranyum

İnsan ve hayvan organizmasına toksik eser elementlerin girme yollarından en önemlisi gıda zinciridir. Gıda zincirine bu elementlerin karışması toprağın yanı sıra yüzey sularından kaynaklanmaktadır. Özellikle maden işletmelerinden çevreye atılan cüruflardaki immobil (hareketsiz) fazdaki metallerin asit yağmurları veya benzeri asidik atıklarla teması sonucu mobil faza geçmesi bu metallerin tayinine olan ilgiyi daha da arttırmaktadır. Bu metaller arasından; Cr, Ni, Co, Cd, As, gibi kanserojen ve Pb, Hg gibi aşırı toksik, U, Th, Sr, Cs, Be, Rb and Pd gibi radyoaktif özelliklere sahip elementlerin (ppb düzeyinde bile) tayini büyük öneme sahiptir. Bunun sonucu olarak, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve benzeri ulusal ve uluslararası otoriteler içme suyu, sulama suyu ve diğer yüzey sularında müsaade edilen toksik element konsantrasyonlarını zamanla daha da küçük değerlere indirmektedirler.

Çalışma alanından örnek alım işlemleri, yer altı ve yüzey sularının en bol olduğu Mayıs 2008 ile yağışların en az olduğu Eylül-Ekim 2008 dönemlerinde gerçekleştirilmiştir. Su örnekleri 30 farklı noktadan, yöredeki akarsulardan, sığ kuyulardan ve derin sondajlara ait kuyulardan alınmıştır. Alınan örneklerin pH'ları ölçülmüş, daha sonra ise bir miktar asit eklenerek, uranyum analizi yapılması için ACME'ye (Kanada) gönderilmiştir. Analizler ICP-MS'de yapılmıştır. ICP-MS'in uranyum için sudaki dedeksiyon limiti 0.02 ppb'dir. Yöredeki uranyum analiz sonuçları lokalitelerine göre harita üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.51.).

Yöreden alınan su örneklerinin pH'ları 5.40 ile 7.84 arasında değişmektedir. Özellikle cevherleşmelerin bulunduğu alanlara yakın bölgelerden alınan suların pH değerleri düşük iken, diğer bölgelerdeki suların pH değerleri daha yüksektir. pH'ı düşük alanlardaki suların metal içerikleri diğer bölgelerdeki suların toplam element içeriğine göre oldukça yüksektir. Bunun nedeni, bu tip ortamlarda dolaşan suların kısmen asidik özelliğe sahip olması ve asidik karektere sahip bu suların yan kayaçlardaki metalleri çözebilme yeteneklerinin yüksek olmasına bağlı olduğu düşünülmektedir.

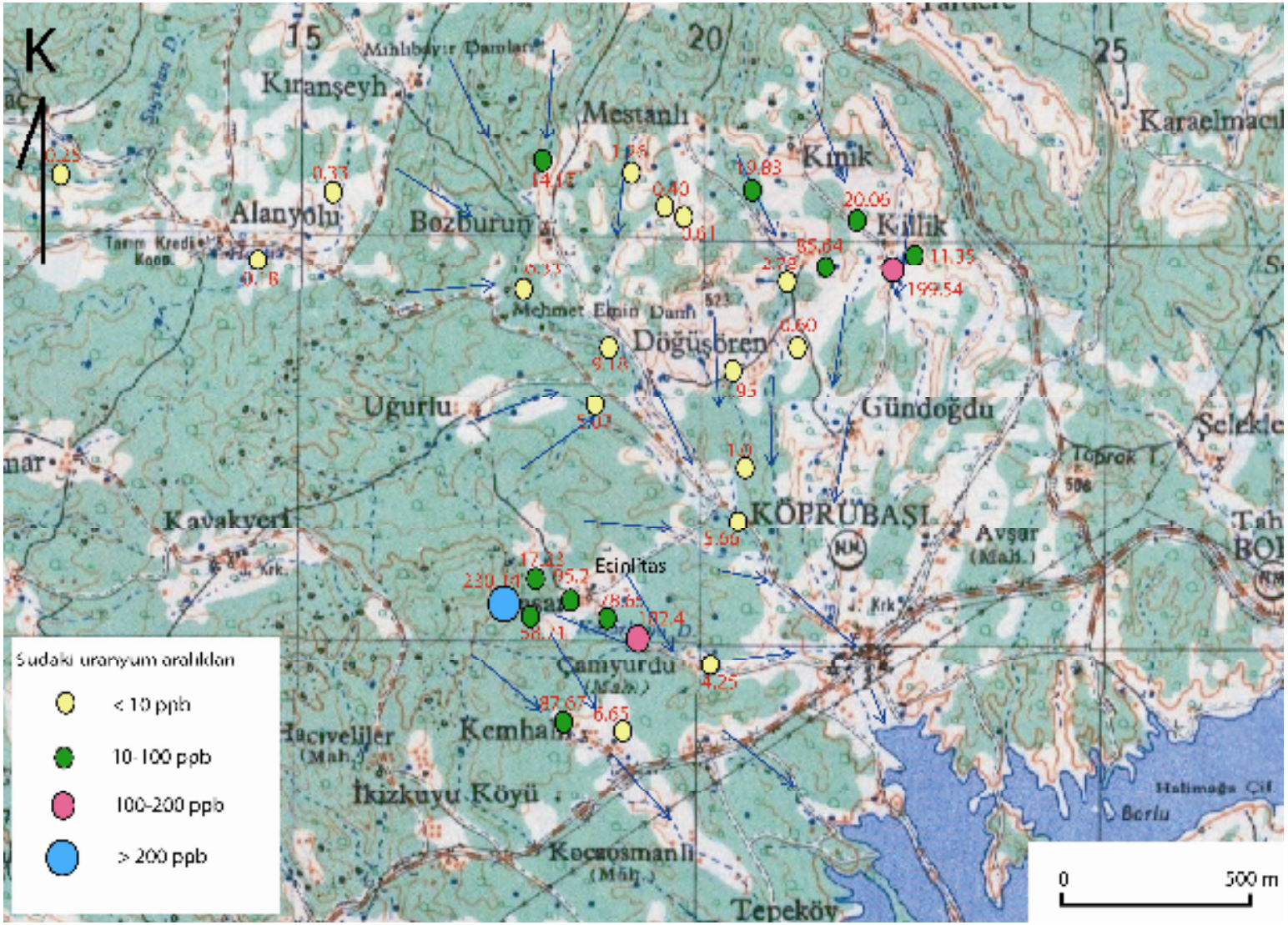
Çalışma sahasından Demirci ve Gördes çayları geçmektedir. Daha sonra bu çaylar Gediz nehri ile birleşerek Demirköprü Barajı'na dökülmektedir. Buradan çıkan sular Salihli, Turgutlu, Manisa ve son olarak da İzmir' de Ege Denizi'ne dökülmektedir. Köprübaşı'ndan Ege Denizi'ne dökülünceye kadar yaklaşık 150-200 km. arasında yol kat etmektedir. İçerisinden geçtiği yerleşim yerlerinde, yeraltı su akiferlerini beslemekte, zirai alanların sulanmasında ve yer yer de açılan kuyular yoluyla da içme amaçlı olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla Gediz nehri aracılığıyla milyonlarca insan bu suyun etkilerinden dolaylı olarak da olsa etkilenmektedir.

Çalışma alanından 30 adet noktadan su örnekleri alınmış, bunların 0.18- 230.14 ppb arasında uranyum içerdiği görülmüştür. Bu kaynak ve kuyularda yeralan suların bazılarında yüksek oranda uranyuma rastlanmıştır. Özellikle uranyum yataklarının bulunduğu alanlardaki

yeraltı suları uranyum açısından oldukça fazla kirlenmiştir. Bu bölgelerden alınan kuyu ve kaynaklara ait sularda 230 ppb'ye varan yüksek oranda uranyum gözlenmiştir. Bu anlamda uranyum yatağı gözlenmeyen alanlardan Kemhalli köyündeki derin sondajdan alınan suda (87.67 ppb) ve Killik yöresindeki örnekte benzer şekilde çok yüksek (199.54 ppb) oranda uranyuma rastlanmıştır (Şekil 4.51.). Köprübaşı çevresindeki uranyum yataklarının bulunduğu alanlar içerisinde en fazla Kasar, Ecinlitaş ve Killik çevresindeki sularda kirlilik değerleri yüksek çıkmıştır (Şekil 4.51.). Uranyum yüzeysel ve yeraltısuyunun hareketli olduğu ortamlarda oldukça hareketli bir elementtir. Bu durumu, çalışma alanında da açıkça görülmektedir. Araziden yüzey ve yüzeye yakın alanlardan alınan örneklerde uranyum içeriği oldukça düşüktür. Hâlbuki özellikle ince taneli killi ve siltli birimler içerisinde doğal olarak uranyumun temel değerlerinin yüksek olması beklenirdi. Ancak uranyumun yüzeysel yıkanmasından dolayı, var olan uranyum yüzey ve yer altı suları aracılığıyla bölgeden uzaklaşmıştır. Bu yıkama işlemleri, jeolojik süreç içerisinde devam etmektedir. Bu açıdan düşünüldüğünde; bu bölgeden kaynaklanan yüzey suları coğrafik olarak daha alt bölgelerdeki havzaların yeraltı sularını beslemesi nedeniyle hem içme hem de tarımsal alanda kullanılan sulama suları açısından potansiyel bir risk oluşturmaktadır. Çünkü uranyum hangi seviyede olursa olsun tolere edilecek veya zararsız olduğu düşünülecek hiçbir yanı yoktur. Bu nedenle içme suları, kullanma ve sulama sularının yanında her türlü yiyecek, meyve ve sebzelerde de uranyum değerinin sıfır olması hedeflenmelidir. Bunun uranyum kirliliğine neden olan tüm doğal ve yapay kaynakların risklerini olabildiğince azaltmak için uranyum bulunan doğal alanlar üzerinde iyileştirme çalışmaları yapılmalı ve mevcut yataklar çevreye zarar vermeyecek şekilde rehabilite edilmelidir. Dünya Sağlık Örgütü'nün yönergesinde, içme sularında uranyum için hedeflenen değer 15 ppb (WHO, 2004), Kanada 20 ppb, US EPA (ABD Çevre Koruma Ajansı) ise maksimum kirlilik seviyesinin 30 ppb olması gerektiğini öne sürmüştür. Benzer şekilde EPA uranyum için 1991 yılındaki standartlarda litrede 20 ppb

olması gerektiğini önerirken, başlıca amacın içme suları için uranyumsuz bir değere sahip olmak gerektiğini belirtmiştir (ATSDR, 1999). Hâlihazırda, WHO, EPA ve EU (Avrupa Birliği) İçme Suyu Standartlarında, uranyum ve diğer radyoaktif element düzeyinin sıfır olması gerektiğini söylemektedirler. Çünkü hangi seviyedeki radyoaktivitenin insan sağlığını yakın veya uzak dönemde ne kadar etkilediği ile ilgili henüz ortaya konmuş bir veri olmadığını, bu yüzden içme sularındaki uranyum düzeylerinin sıfır olması gerektiğini belirtmektedir (Schnug vd., 2005). Benzer şekilde Gofman (1996) da, insan sağlığı için, radyoaktivitenin güvenli bir dozunun olmadığını, dolayısıyla amaçlanan hedefin sıfır olması gerektiğini ileri sürmüştür.

Uranyumun toksitesinin kaynağı, uranyumun radyoaktif özelliği ve kimyasından kaynaklanmaktadır. Uranyumun, insan vucuduna zarar verdiği, mide ve böbrek kanseri, böbrek yetmezliği ve lösemi gibi pek çok hastalıklara neden olduğu bilinmektedir (Brugge vd., 2005). Uranyumun yüksek dozları ile yapılan çalışmalar göstermiştir ki, böyle durumlar üreme veya üretkenlik toksitesi ile aşırı kilo kayıplarına da neden olabilmektedir (Hindin vd., 2005).



Şekil 4.51. Çalışma alanı su örneği alım noktaları ve uranyum seviyeleri (ppb).

5. SONUÇLAR

Köprübaşı (Salihli-Manisa) uranyum yatağı çevresinde toprak, su ve bitki örneklerinde uranyum düzeyleri ve olası çevresel etkilerinin belirlenmesi" konulu tez çalışmasından aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1- Köprübaşı Uranyum Yatağı uzun yıllardan beri bilinen ve üzerinde belirli bir dönem madencilik çalışmaları yapılan Türkiye'nin en büyük uranyum yataklarından birisidir. Madencilik yapıldığı dönemde Kasar ve Taşharman yörelerinde bir miktar üretim de yapılmış ve ilk sarı pasta bu yataklardan alınan cevherden üretilmiştir. Daha sonra üretim durdurulmuş ve fabrika hâlihazırda yıkıma terk edilmiştir. Bölgede özellikle eski arama döneminde açılmış olan ve derinliği yer yer 15-20 m.'ye varan, üstü açık derin kuyular (3x4 m. boyutlarında) hem bölge halkı hem de yörede yaşayan yerli ve yabani hayvanlar için tehdit oluşturmaktadır. Bu kuyular herhangi bir can ve mal kaybına yol açmaması için ya doldurulmalı veya üzeri kapatılarak çevreye zararsız hale getirilmelidir. Ayrıca çevresel açıdan oldukça toksik ve zararlı maden sahalarının çevreye zarar vermemesi için böyle yataklar üzerinde ve çevresinde iyileştirme çalışmaları yapılmalı, fazla kirlenmiş alanlarda tarım ve ziraat yapılmamalı, bölgeden kaynaklanan yüzey ve yeraltı suları içme ve sulama amaçlı kullanılmamalıdır. Bu sayede bölgeden kaynaklanan kirliliğin, aşağı havzalardaki alanları kirletmesi önlenmelidir. Rehabilitasyon işlemleri özellikle hem görsel, hem de uranyumca kirlenmiş alanları, özellikle İngiltere'de eski kömür ve metalik maden işletmelerinde yapıldığı gibi, uygun teraslama yöntemi ile ağaçlandırılmalı ve yeşil kuşak haline dönüştürülmelidir. Bu şekilde çevreye en az zarar verebilecek konuma getirilmelidir. Yeşil alana dönüştürülmesi sırasında bölgedeki toksik elementleri temizleyebilecek özelliklere sahip bitkilerin seçilmesine dikkat edilmelidir. Böylece kısa zamanda

olmasa bile uzun dönemde bölgedeki kirliliğin temizlenmesi veya minimize edilmesi amaçlanmalıdır. Böyle işlemler, modern ülkelerde maden üretimi ile başlamakta, yatak tükendiğinde iyileştirme çalışmaları da tamamlanmış olmaktadır. Ülkemizde bu tür çalışmalara gün geçmeden başlanmalıdır.

2- Köprübaşı uranyum yatağı çevresindeki topraklar, akarsu ve gölsel ortamlarda çökelmiş kayaçların ayrışmasıyla oluşmuş topraklardır. Bu topraklardan gölsel ortamlarda çökelen toprak ve kayaçların uranyum içeriği oldukça düşüktür ve genellikle 0.05 ile 5.0 ppm arasında değişmektedir. Akarsu ortamlarındaki toprakların uranyum içeriği ise çok değişkendir ve bazı alanlar 3000-4000 ppm gibi oldukça yüksek uranyum içeriğine sahiptir. Böyle alanlardaki uranyum değişimi, çok kısa aralıklarda bile önemli değişmeler sunabilmektedir. Bu da yöredeki uranyum cevherleşmesinin genellikle düzensiz yataklanma göstermesinden kaynaklanmaktadır. Yörede yüksek oranda kirlenmiş alanlar toprak haritasında da görüldüğü üzere başlıca Kasar, Topallı ve Kayran bölgeleridir. Çalışma alanında uranyum ile diğer elementler arasındaki korelasyon ilişkilerine göre; uranyum, bakır (0.94) ve kurşun (0.81) ile kuvvetli pozitif, arsen (0.19), talyum (0.28), kadmiyum (0.20) ve selenyum (0.29) ile zayıf pozitif korelasyonlar göstermektedir. Benzer şekilde uranyum, toryum ile herhangi bir korelasyon ilişkisi göstermemektedir. Bu da uranyum ile toryumun depolanma ortamına beraber taşınmadığını, daha çok bakır ve kurşunla taşındığını göstermektedir.

3- Yörede yetişmiş bir veya çok yıllık bitki ve ağaçların toprakları, kök, dal ve tohumlarının kimyasal analizlerine göre söz konusu bitkilerin farklı bölümlerinin uranyum içerikleri, topraktan gövde ve dal (hiperakümülatör: gövde veya daldaki

uranyum konsantrasyonu / topraktaki uranyum konsantrasyonu, en az birkaç kat olmalı) ile kökten dal ve diğer kesimlere uranyumu taşıma oranları (translokasyon) incelenmiştir. İncelenen bitkiler içerisinde hem kök, hem de dallarında hiperakümülatör özellik taşıyan, yani topraktaki uranyum miktarının çok üzerinde (en az birkaç kat daha fazla) uranyum içeren bitkiler araştırılmıştır. Yapılan kimyasal analizlerde sadece *Capsicum annium* (biber)' un kökü toprağa göre 4.44 defa daha fazla uranyum toplamıştır. Yörede yetişen bitkiler arasında *Quercus robur* (meşe)' un bir örneği, *Olea europeae* (zeytin)'nin tüm örnekleri, *Astragalus* (geven)'un 2 örneğinin translokasyon faktörleri (dal veya tohumdaki uranyum konsantrasyonu / kökteki uranyum konsantrasyonu) 1' den büyüktür. Bu da göstermektedir ki söz konusu bitkilerin kökteki uranyumu dal, yaprak ve tohumlara transfer etme kapasitesi diğer incelenmiş bitkilere göre daha yüksektir. Ancak *Verbascum* gibi bazı bitkiler ise topraktaki yüksek miktardaki uranyumu bünyesinde toplayabilmektedir. Bu bitkinin kökünde 1026 ppm, dalında ise 285 ppm uranyum bulunmaktadır.

4- Uranyum, son yıllarda hazırlanan standartlarda en toksik ve istenmeyen elementler sınıfına dahil edilmiştir. WHO, EU ve EPA gibi örgütler, 1990'lı yıllara ait standartlarda, içme sularındaki uranyum değerlerinin 20-30 ppb arasında olmasını isterken, artık günümüzde bu değerlerin kesinlikle sıfır olması gerektiğini belirtmektedir. Bu bağlamda, yöredeki su örneklerine ait analiz sonuçlarını değerlendirdiğimizde, özellikle Kasar, Ecinlitaş, Kemhallı, Killik ve Kınık bölgelerindeki kaynak sularının önemli oranda uranyum bakımından kirlendiği göstermiştir. Yukarıdaki bölgelerdeki kirlilik miktarları, WHO, EU ve USEPA gibi örgütlerin ortaya koydukları standart değerlerin (20 ppb olduğu kabul edilirse) çok üzerinde, bazen bunun 10 katından daha büyük değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Bu sular, yöredeki insanlar tarafından hiçbir kısıtlamaya ve uyarıya maruz kalmadan, günlük ihtiyaçlarında içme ve sulama amaçlı olarak kullanılmaktadırlar. Bu durum, hem yörede yaşayan insanlar, hem de diğer canlılar için çevresel bir risk oluşturmaktadır. Söz konusu kaynak ve suların içilmemesi ve kullanılmaması sağlanmalı, bunun için gerekli koruma ve önlemler alınmalıdır. Ayrıca bu kaynakların topoğrafik olarak daha alt kotlarındaki dere, kaynak, akifer ve barajları kirletmesi önlenmelidir. Çünkü bölgedeki uranyumca zengin bu sular, Gediz nehrinin başlıca kaynaklarını oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu durum Gediz vadisinde yaşayan tüm canlıları direk veya dolaylı olarak etkilemektedir.

5- Çalışma alanındaki toprak, su ve bitkilere ait uranyum analiz sonuçları, özellikle belli alanlarda kirlenme potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bu alanlar başlıca Kasar, Topallı, Killik, Kemhallı ve Taşharman bölgeleridir. Bu yörelerde mostra vermiş veya gömülü halde uranyum yatakları gözlenmektedir. Bu uranyumlu kütleler, yöredeki topraklarının, yüzey-yeraltısularının ve bölgede yetişen bitkilerin değişik oranlarda kirlenmelerine neden olmaktadır. Dolayısıyla bu alanlar potansiyel kirlilik alanlarını oluşturmaktadır.

6- Bu çalışma kısıtlı olanaklarla ve yaklaşık bir yıl içerisinde bitirilmiş bir çalışmadır. Bu çalışmanın çıktılarının çevre sağlığı açısından oldukça önemli olduğunu düşünülmektedir. Ancak yörede özellikle su kaynakları üzerinde örnek alım işlemlerinin daha kısa aralıklar ile (2 ayda) ve uzun dönemli (üç yıl gibi) uranyuma yönelik kimyasal analiz çalışmalarının devam ettirilmesinin, bölgedeki bu önemli çevresel problemin sınırlarının ortaya konmasına yardımcı olacaktır.

6. KAYNAKLAR

Antunes, S.C., De Figueiredo, D.R., Marques, S.M., Castro, B.B., Pereira, R., Gonçalves, F., 2007. Evaluation of water column and sediment toxicity from an abandoned uranium mine using a battery of bioassays. *Sci. Total Environ.* 374, 252–259.

ATSDR, (1997). Toxicological Profile for Uranium. Draft for Public Comment. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, CDC, Atlanta, Georgia.

ATSDR, 1999. Public health statement for uranium.

Ayışkan, Ö., 1972a. Türkiye Uranyum Cevherleri Değerlendirme Çalışmaları Ara Rapor III, Taşharman Yatağı Tüflü Seviye Cevherinin Zenginleştirme Etüdleri. MTA Teknoloji Şubesi, 47s., Derleme Raporu: 4901, Ankara.

Ayışkan, Ö., 1972b. Türkiye Uranyum Cevherleri Değerlendirme Çalışmaları Ara Rapor IV, Taşharman Yatağı Konglomera tipi Cevherinin Zenginleştirme Etüdleri. MTA Teknoloji Şubesi, 36s., Derleme Raporu: 4902, Ankara.

Baborowski, M., Bozau, E.2006. Impact of former mining activities on the uranium distribution in the River Saale (Germany). *Appl. Geochem.* 21, 1073–1082.

Baratto, M.C., Tattini, M., Galardi, C., Pinelli, P., Romani A., Visioli, F., Basosi, R., Pogni, R. 2003. Antioxidant activity of galloyl quinic derivatives isolated from *Pistacia lentiscus* leaves. *Free Radical Research* 37, 405–412.

Bentley, R.Y., Trimen, H. 1980. *Medicinal plants*, J. and A Churchill, London p. 68.

Brugge, D., deLemos, JL., Oldmixon, B., 2005. Exposurepathways and health effects associated with chemical and radiological toxicity of natural uranium: a review. Rev Environ Health.20: 177-193.

Erdman, J.A. 1984. Workshop 2: Biogeochemistry in mineral Exploration. *Journal of Geochem. Explor.* 21, 123-128.

Gofman, JW., 1996. Radiation – induced cancer from low- dose exposure: an independent analysis.San Francisco: Committee for Nuclear Responsibility.

Hart, D.R., McKee, P.M., Burt, A.J., Goffin, M.J. 1986. Benthic community and sediment quality assessment of Port Hope Harbour, Lake Ontario. *J. Great Lakes Res.* **12**, 206–220.

Hoening, H., Borger, M.,1983. Particular problems encountred in trace metal analysis of planty by AAS, *Spec. Chem. Acta*. 38/B (5/6), 673- 880.

Hindin , R., Brugge, D., Panikkar, B., 2005. Teratogenicity of depleted uraniumm aerosols: a view from an epidemiological perspective. Environ Health. 4: 17.

Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. 2001. Trace Elements in Soils and Plants; CRC Press: Washington, D.C.

Kacar, B., 1984. Bitki Beslenmesi, A.Ü. Ziraat Fak. Yay. 889, 317 s., Ankara.

Kaçmaz, H. 2007. Manisa Salihli-Köprübaşı Uranyum zuhurunun incelenmesi. DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi. 98 s. İzmir.

Köksoy, M., 1991. Uygulamalı Jeokimyasal Prospeksiyonun Tanımı ve Laboratuar Metotları, MTA Yayınları Eğitim Serisi 16, 96 s., Ankara.

Kurnaz, A., Küçükömeroglu, B., Keser, R., Okumusoglu, N.T., Korkmaz, F., Karahan G., Cevik, U.. 2007. Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Firtina Valley (Rize, Turkey). *Appl. Radiat. Isot.* 65, 1281–1289.

Lottermoser, B., Ashley, P., Costelloe, M. 2005. Contaminant dispersion at the rehabilitated Mary Kathleen uranium mine. Australia, *Environ. Geol.* 48, 748–761.

Lozano, J.C., Blanco Rodríguez, P., Vera Tomé, F. 2002. Distribution of long-lived radionuclides of the ^{238}U series in the sediments of a small river in a uranium mineralized region of Spain. *J. Environ. Radioact.* 63,153–171.

MTA, 1976. Köprübaşı Uranyum Pilot Tesis Çalışmaları Hakkında Ön Rapor. MTA Enstitüsü Teknoloji Şubesi Radyoaktif ve Nadir Metaller Teknoloji Servisi, 11s., Derleme Raporu: 5545, Ankara.

MTA, 1978. Manisa Köprübaşı Uranyum Cevherleri Üzerine Pilot Çapta Teknolojik Çalışma. MTA Teknoloji Dairesi Radyoaktif ve Nadir Metaller Teknoloji Servisi, 92s., Derleme Raporu: 6511, Ankara.

MTA, 1986. Kasar- Topallı- Çetinbaş (Manisa- Salihli- Köprübaşı) Uranyum Sahalarına Ait Ön Değerlendirme Raporu. MTA Fizibilite Etüdleri Dairesi Enerji Hammaddeleri Servisi, 16s., Derleme Raporu: 8270, Ankara.

Neame, P.A., Dean, J.R., Zytaruk, B.G.,1982. Distribution and concentrations of naturally occurring radionuclides in sediments in a uranium mining area of northern Saskatchewan, Canada. *Hydrobiologia* 91–92, 355–361.

Özdemir, Z., 1996. Maden Çayı Boyunca Biyojeokimyasal Anomalilerin İncelenmesi. F.Ü. Fen Bil. Ens. Doktora tezi, 144 s. Elazığ (Yayınlanmamış).

Özdemir, Z. ve Sağıroğlu, A., 1996. Botanik Prospeksiyon. M.Ü. Müh. Fak. Derlemeler dizisi, 4, 93-100, Mersin.

Pais, I., Jones, J.B, 2000. The handbook of trace elements. St. Lucie Press, 222 p.

Rose, A.W., Hawkes, H.E., Webb, J.S., l979. Geochemistry in mineral exploration. Acad. Press, 635 p.

Saari, H.K., Schmidt, S., Coynel, A., Huguet, S., Schäfer, J., Blanc, G., 2007. Potential impact of former Zn ore extraction activities on dissolved uranium distribution in the Riou-Mort watershed (France). *Sci. Total Environ.* 382, 304–310.

Sadık, U., 1973. Köprübaşı Bölgesine Ait Uranyum Cevherlerinin Liçing Denemeleri Rapor III. MTA Enstitüsü Teknoloji Şubesi Metalurji Servisi, 12s., Derleme Raporu: 4963, Ankara.

Sarkar, B., 2002. Heavy metals in environment. Marcel Dekker Inc., 742 pp.

Sasmaz, A., Yaman, M., 2008. Determination of uranium and thorium in soil and plant parts around abandoned Pb-Zn-Cu mining area. *Communication Soil Science and Plant Analysis* 39 (17-18), 2568 - 2583.

Schiesinger, V.H., 1992. Biogeochemistry. Geotimes 37/2, 2-3.

Schuiling, R. D., 1961. Kasar- Köprübaşı Anomalisine Dair Rapor ve Civarda Bulunan Bazı Anomalilere Ait Mülahazalar. MTA Enstitüsü Atom Enerjisi Hammaddeleri Şube Müdürlüğü, 9s., Derleme Raporu: 9689, Ankara.

Schnug, E., Sparovek, R., Lamas, M., Fleckenstein, J., Schroetter, S., 2005. Uranium contamination: In: Lal R. (ed) Encyclopedia of soil science. New York: Dekker (in print)

Seçmen, O., Gemici, Y., Leblebici, E., Gork, G., Bekat, L., 1989. Tohumlu Bitkiler Sistematigi. Ege Universitesi Fen Fakultesi Yayini 116, 396s., İzmir.

Şimşek, C. 2008. Assessment of natural radioactivity in aquifer medium bearing uranium ores in Koprubasi, Turkey. *Environmental Geology* 55/8, 1637-1646.

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 2004. Uranyum. TAEK Teknoloji Dairesi Nükleer Yakıt Teknolojileri Şubesi, 16s. Ankara.

U.S. EPA., 2000. National Primary Drinking Water Regulations; Radionuclides; Final Rule, 40 CFR Parts 9, 141 and 142 Federal Register 65, No. 236, 76708-76753.

Yılmaz, H., 1979. Genesis of uranium deposits in Neogene Sedimentary rocks. Menderes Metamorphic Massif, Turkey. PhD Thesis. University of Western Ontario, 221p, London.

Yılmaz, H., 1982. Neojen çökelleri (Köprübaşı–Gördes) içindeki uranyum yataklarının oluşumu. *Jeoloji Mühendisleri Odaso Yayını* 5, 3–19.

Zrira, S., Elamrani, A., Benjilali, B. 2003. Chemical composition of the essential oil of *Pistacia lentiscus* L. from Morocco – A seasonal variation. *Flavour and Fragrance Journal* 18, 475–480.

WHO 1993. Enviromental Health Criteria 140: Genova .

WHO 2004. Uranium in drinking water background document for development of WHO Guidelines for drinking water quality, World Healthy Organization.

ÖZGEÇMİŞ

Özlem ŞEN 1979 yılında Elazığ'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Elazığ'da tamamladı. 1996 yılında girdiği Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden 2001 yılında Jeoloji Mühendisi olarak mezun oldu. Eylül 2002-Temmuz 2004 yılları arasında, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. Şubat 2005'de Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora öğrenimine başladı. Özlem ŞEN halen Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde doktora öğrenimini yapmaktadır.