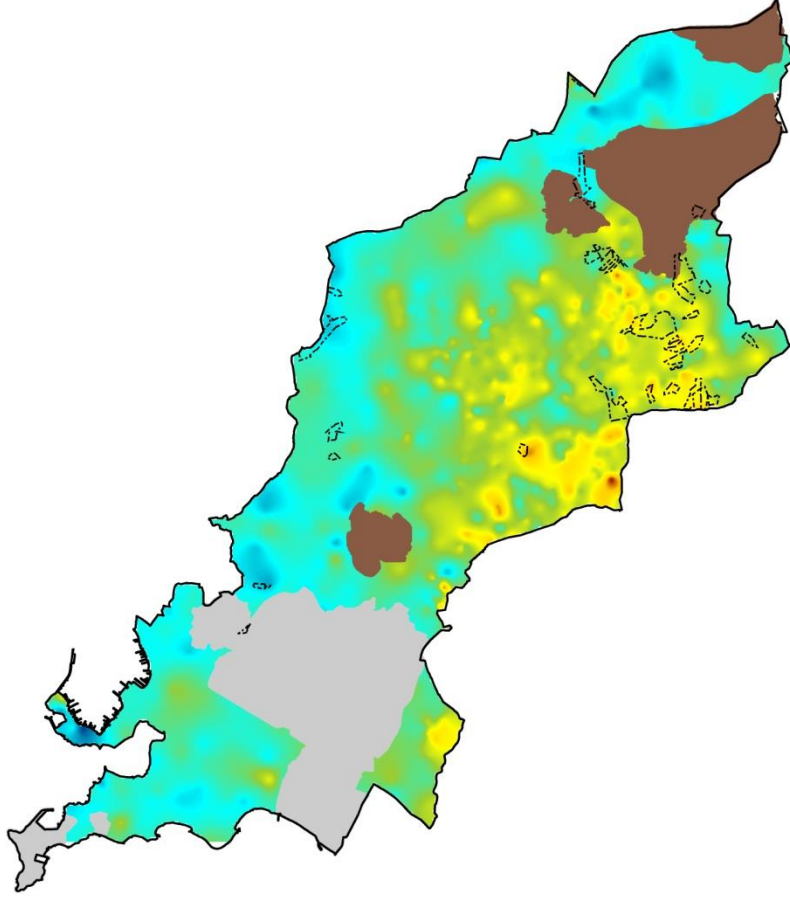


**TUZLA İLÇESİ JEOMEDİKAL
(RADYOAKTİVİTE) TEHLİKE HARİTALARININ
OLUŞTURULMASI**



SONUÇ RAPORU

HAZİRAN – 2023



ALDEMİR ZEMİN MÜH. PROJE İNŞ. VE TİC. LTD. ŞTİ
Abdurrahmangazi Mah. Bennur Sok. No:17-19 B Blok D:9 Sancaktepe/İSTANBUL

İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı, Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme
Dairesi Başkanlığı, Deprem ve Zemin İnceleme Şube Müdürlüğü

tarafından Yüklenici

ALDEMİR ZEMİN MÜH. PROJE İNŞ. VE TİC. LTD. ŞTİ. Firmasına
hazırlattırılmıştır.

Her hakkı saklıdır.

Bu doküman ve içeriği Deprem ve Zemin İnceleme Şube Müdürlüğünün izni alınmadan
kullanılamaz ve çoğaltılamaz.

**DEPREM RİSK YÖNETİMİ VE KENTSEL İYİLEŞTİRME DAİRESİ
BAŞKANLIĞI**

DAİRE BAŞKANI

ÖZLEM TUT

DEPREM VE ZEMİN İNCELEME ŞUBE MÜDÜRLÜĞÜ

MÜDÜR

KEMAL DURAN

MÜDÜR YARDIMCISI

Gülçin TÜRKKAN KARAOĞLU

KONTROL TEŞKİLATI

Gülçin TÜRKKAN KARAOĞLU
Burak ÇATLIOĞLU
İskender AKMEŞE
Duygu KAHVECİ
Yasin Yaşar YILDIRIM

Jeoloji Yük. Mühendisi
Jeofizik Yük. Mühendisi
Jeoloji Mühendisi
Jeofizik ve Jeoloji Mühendisi
Jeofizik Yük. Mühendisi

YÜKLENİCİ

ALDEMİR ZEMİN MÜH. PROJE İNŞ. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Recep Emrah ALDEMİR

Jeofizik Mühendisi

DANIŞMAN

SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ

Doç. Dr. Osman UYANIK

Jeofizik Yük. Mühendisi

YÖNETİCİ ÖZETİ

Doğal radyasyon çevremizdeki kaya ya da toprakta az ya da çok bulunmaktadır. Dolayısıyla insanoğlu yaşadığı ortamdan kaynaklı gama ışınlarına maruz kalmaktadır. Çoğunlukla volkanik kayalar ve bu kayaların aşınması ve taşınıp çökmesi sonucunda oluşan topraklar doğal radyasyon kaynağı olabilir. Bu tür ortamların içerisindeki uzun ömürlü radyoaktif elementler; Uranyum-238, Toryum-232, Potasyum-40 ve bu elementlerin bozunma ürünleri olan Radyum-226 ve Radon-222'dir. Radyoaktif elementlerin yaydıkları gama ışınlarının insan vücudundan geçebilme özelliğinden dolayı vücut organlarında yarattığı zararlı etkilerin yanı sıra Uranyumun bozunmasının bir ürünü olan radon, doğal zeminden bina içine kadar nüfuz edebilmekte ve solunması sonucunda özellikle akciğer kanserinin oluşumuna neden olabilmektedir.

Dünya'da doğal radyoaktivite çalışmalarına baktığımızda Avrupa Birliği üye ülkelerinin tamamında, Kuzey Amerika'da, Slovenya'da, İsrail-Filistin, Mısır ve Hindistan'da çalışmaların tamamlandığı görülmektedir. Ülkemizde Maden Tetkik Arama tarafından enerji hammaddesi kapsamında havadan radyometrik yöntemlerle ölçümler yapılmış ve bu ölçümler sonucunda belirli alanlarda yerde ölçümler ile enerji hammaddesi aramalarına devam edilmektedir. Ancak bu çalışmalardan elde edilen veriler Jeomedikal anlamda değerlendirilmemektedir. Ülkemizdeki Jeomedikal anlamda değerlendirmeler parsel ölçeğinde çalışmalarla sınırlı kalmıştır.

Sendai Afet Risk Azaltma çerçevesine göre Jeomedikal tehlike bir afet türüdür. Doğal radyoaktivite de jeomedikal tehlike türü içerisinde değerlendirilmektedir. Birçok uluslararası kuruluşlar tarafından radyoaktif elementlerin dünya ortalama değerleri ve radyolojik risk açısından insan sağlığına zararlı olabilecek sınır değerler verilmiştir. Buna karşın AFAD, İl Risk Azaltma Planı (İRAP) kapsamında her ilde tehlike türlerini belirlerken radyoaktif elementlerden kaynaklı jeomedikal tehlikeyi göz ardı etmiştir. Bu durum İstanbul ve diğer illerdeki İRAP dokümanlarına baktığımızda jeomedikal bir tehlike türünün belirlenmediği görülmektedir.

Doğal radyoaktivite ölçümleri yerleşime uygunluk ve jeomedikal tehlikelerin belirlenmesi için İstanbul'da önerilmiş ve pilot ilçe olarak Sancaktepe Granitlerinin büyük bir bölümünün yer aldığı ve sanayi ile iç içe olan Tuzla İlçesi'nde 1000 farklı noktada yapılmıştır. Bu ölçümler Tuzla ilçesinin 250x250 ve yer yer 500x500 gridler içerisinde yapılmıştır. Özellikle radyoaktif elementlerin yoğun olabileceği Sancaktepe

granitlerinde yer yer 100m aralıklar ile ölçümler yapılmıştır. Tuzla ilçesi içerisinde yer alan Askeri ve orman alanlarında ölçümler yapılamamıştır. Sonuç olarak bu ilçede yapılan yerinde doğal radyoaktivite çalışmaları ile ilçenin doğal radyoaktif haritaları oluşturulmuş ve bu haritalar ile [TAEK \(2010\)](#) Türkiye ortalama değerleri ve [UNSCEAR \(2000\)](#) dünya ortalama değerlerine göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Ayrıca doğal radyoaktif elementlerin aktivite konsantrasyon ve [UNSCEAR \(2000\)](#) de verilen radyolojik risk sınır değerleri farklı renk sınırlandırmaları kullanılarak radyolojik risk haritaları oluşturulmuştur. Tüm bu haritaların sonucunda jeolojik birimlerde mevcut olan doğal radyoaktif elementlerden kaynaklı kanser etki haritası oluşturulmuştur. Elde edilen tüm radyoaktif haritalar ile mevcut jeoloji ve hidrojeoloji haritalarının karşılaştırmaları yapılarak çıkabilecek yüksek radyolojik risk verilerinin hem tarım arazisine hem de yeraltı suyunu etkisi araştırılmıştır. Ayrıca yüksek radyolojik risk verilerinin çalışma alanı bir sanayi bölgesi olmasından dolayı sanayi atıklarından kaynaklı olup olmayacağı değerlendirilmiştir. Ek olarak uranyum aktivite konsantrasyon değerlerinin hem Türkiye hem de Dünya ortalama değerlerinden yüksek çıktığı bazı alanlarda radon gaz çıkışlarının olabileceği ve bu alanlarda radon gaz ölçümlerinin yapılması önerilir. Bu tür çalışmalar özellikle kent planlamasına ve yapılaşmaya yön vermesi açısından önemlidir. Bu yüzden İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve ilgili ilçe belediyesinin planlama ve çevre koruma müdürlüklerine, AFAD ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı çalışmalarında altlık veri teşkil etmesi açısından da önemlidir. Sonuç olarak jeolojik birimler üzerinde yapılan gama ışın spektrometre ölçümlerinden elde edilen radyoaktif elementlerden yararlanarak belirlenen radyolojik risk haritalarına ek olarak radyojenik ısıdan kaynaklı jeotermal enerji için ve enerji hammaddesinin varlığına yönelik bir altlık oluşturacaktır.

ABSTRACT

Natural radiation is more or less present in the rock or soil around us. Therefore, human beings are exposed to gamma rays originating from the environment they live in. Mostly volcanic rocks and soils formed as a result of erosion, transport and precipitation of these rocks can be natural sources of radiation. Long-lived radioactive elements in such environments; they are Uranium-238, Thorium-232, Potassium-40 and the decay products of these elements, Radium-226 and Radon-222. In addition to the harmful effects it creates on body organs due to the ability of gamma rays emitted by radioactive elements to pass through the human body, radon, which is a product of the decomposition of uranium, can penetrate from the natural floor into the building, and as a result of inhalation of its, it can lead to the formation of lung cancer.

When we look at natural radioactivity studies in the world, it is seen that studies have been completed in all European Union member countries, North America, Slovenia, Israel-Palestine, Egypt and India. In our country, measurements were made with radiometric methods from the air within the scope of energy raw material by Mineral Research and Exploration, and as a result of these measurements, ground measurements and energy raw material searches are continued in certain areas. However, the data obtained from these studies are not evaluated in geomedical terms. Geomedical evaluations in our country are limited to parcel-scale studies.

According to the Sendai Disaster Risk Reduction framework, Geomedical hazard is a type of disaster. Natural radioactivity is also considered as a geomedical hazard. World average values of radioactive elements and limit values that may be harmful to human health in terms of radiological risk have been given by many international organizations. On the other hand, AFAD ignored the geomedical hazard originating from radioactive elements while determining the types of hazards in each province within the scope of Provincial Risk Reduction Plan (İRAP). When we look at the İRAP documents in Istanbul and other provinces, it is seen that no geomedical hazard type has been determined.

Natural radioactivity measurements were proposed in Istanbul to determine suitability for settlement and geomedical hazards, and were made in 1000 different points Tuzla District, where most of the Sancaktepe Granites are located and which is intertwined with industry, as a pilot district. These measurements were made in the 250x250 and sometimes 500x500 grids of Tuzla district. Especially in Sancaktepe granites, where

radioactive elements can be intense, measurements were made with 100 m intervals in places. Measurements could not be made in the military and forest areas in Tuzla district. As a result, natural radioactive maps of the district were created with in-situ natural radioactivity studies in this district and comparisons were made with these maps according to [TAEK \(2010\)](#) Turkey average values and [UNSCEAR \(2000\)](#) world average values. In addition, radiological risk maps were created by using the activity concentration of natural radioactive elements and the radiological risk limit values given in [UNSCEAR \(2000\)](#), using different color limitations. As a result of all these maps, a cancer effect map originating from the natural radioactive elements present in the geological units was created. By comparing all the radioactive maps obtained with the existing geological and hydro-geological maps, the effects of high radiological risk data on both agricultural land and groundwater were investigated. In addition, it has been evaluated whether the high radiological risk data will be caused by industrial wastes since the study area is an industrial zone. In addition, in some areas where uranium activity concentration values are higher than the average values of both Turkey and the world, there may be radon gas outflows and it is recommended to measure radon gas in these areas. These studies are especially important in terms of giving direction to urban planning and construction. Therefore, it is also important in terms of providing base data for the planning and Environmental Protection directorates of the Istanbul Metropolitan Municipality and the relevant district municipality, AFAD and the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change. As a result, in addition to the radiological risk maps determined by using the radioactive elements obtained from the gamma ray spectrometer measurements made on the geological units, it will form a base for the geothermal energy originating from the radiogenic heat and the existence of the energy raw material.

İÇİNDEKİLER

YÖNETİCİ ÖZETİ	3
ABSTRACT	5
İÇİNDEKİLER	7
1. GİRİŞ	11
1.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI	12
1.2. ÇALIŞMA YERİ	14
1.3. ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ	14
1.4. ÖNCEKİ ARAŞTIRMALAR	15
1.5. KATKI BELİRTME	18
2. JEOLojİ	19
2.1. GENEL JEOLojİ	19
2.2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLojİSİ	20
2.2.1. İSTANBUL BİRLİĞİ	20
2.2.2. NEOJEN KAYA-STRATİGRAFI BİRİMLERİ	26
2.2.3. MAGMATİZMA ÜRÜNÜ	28
3. TANIMLAMALAR VE YÖNTEM	29
3.1. TANIMLAMALAR	29
3.2. GAMA-IŞIN SPEKTROMETRE YÖNTEMİ	31
4. RADYOLOJİK RİSK ve YAŞAM BOYU KANSER ETKİSİ	35
5. SAHA ÖLÇÜMLERİ	39
6. RADYOLOJİK RİSK DEĞERLENDİRMELERİ	43
7. SONUÇLAR	63
KAYNAKLAR	66

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Tuzla İlçesi Jeoloji Haritası (İBB, 2011)	21
Şekil 3.1. Yer ve yer dışı kaynaklardan gelen gama ışını salgısının spektrometre pencerelerindeki etkileri (Aydm, 2004)	32
Şekil 3.2. Gama-Işın spektrometresinin şematik diyagramı (Bopp, 1997)	32
Şekil 3.3. Granit-Gnays ve U, K, Th örneklerinin gama-ışın spektrumu (Uyanık, 2011)	33
Şekil 3.4. Gama-ışın spektrometre cihazı	34
Şekil 5.1. Saha ölçümlerinden örnek resimler	40
Şekil 5.2. Çalışma alanının jeolojisi ve 250 x 250 m gridlenmiş durumu	41
Şekil 5.3. Gama-ışın spektrometre ölçüm noktalarını gösterir lokasyon haritası	41
Şekil 6.1. Tuzla ilçesine ait jeolojik birimlerden kaynaklı K^{40} haritası	44
Şekil 6.2. Tuzla ilçesine ait jeolojik birimlerden kaynaklı U^{238} haritası	45
Şekil 6.3. Tuzla ilçesine ait jeolojik birimlerden kaynaklı Th^{232} haritası	46
Şekil 6.4. Tuzla ilçesine ait jeolojik birimlerden kaynaklı Doz haritası	51
Şekil 6.5. Tuzla ilçesine ait jeolojik birimlerden kaynaklı yıllık efektif doz haritası	52
Şekil 6.6. Tuzla ilçesine ait jeolojik birimlerden kaynaklı Radyum eşdeğer haritası	53
Şekil 6.7. Tuzla ilçesine ait jeolojik birimlerden kaynaklı 1mSv yıllık etkin doza karşılık gelen aktivite konsantrasyon indis (I) haritası	54
Şekil 6.8. Tuzla ilçesine ait jeolojik birimlerden kaynaklı Dış İndeks haritası	55
Şekil 6.9. Tuzla ilçesine ait jeolojik birimlerden kaynaklı İç İndeks haritası	56
Şekil 6.10. Tuzla ilçesine ait jeolojik birimlerden kaynaklı aktivite kullanım indeks haritası	57
Şekil 6.11. Tuzla ilçesine ait jeolojik birimlerden kaynaklı yaşam boyu dış kanser etki haritası	58
Şekil 6.12. Tuzla ilçesine ait jeolojik birimlerden kaynaklı yaşam boyu iç kanser etki haritası	59
Şekil 6.13. Tuzla ilçesine ait hidrojeoloji haritası	60
Şekil 6.14. Tuzla ilçesine ait arazi kullanım öneri haritası (İBB, 2017'den düzenlenmiştir.)	61

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1. Radyolojik tehlike riskinin derecesi (UNSCEAR 2000)	36
Tablo 4.2. Yapı malzemeleri için önerilen Aktivite Konsantrasyon İndisi (I)	37
Tablo 5.1. Tuzla ilçesi jeolojik birimler üzerinde ölçülen doğal radyoaktif elementlerin jeolojik birimlere göre dağılımları (en küçük ve en büyük değerleri)	42
Tablo 6.1. Farklı ülkelerde alüvyon zeminlerde elde edilen K^{40} , U^{238} ve Th^{232} aktivite konsantrasyon değerleri (Uyanık vd. 2013 'den düzenlenmiştir)	47
Tablo 6.2. Farklı ülkelerde granitlerde elde edilen K^{40} , U^{238} ve Th^{232} aktivite konsantrasyon değerleri	48
Tablo 6.3. Tuzla ilçesi K^{40} , U^{238} ve Th^{232} aktivite konsantrasyonları ve radyolojik risk parametreleri	49

SİMGELER LİSTESİ

K^{40}	: Potasyum 40
U^{238}	: Uranyum 238
Th^{232}	: Toryum 232
C_K	: Potasyum aktivite konsantrasyonu
C_U	: Uranyum aktivite konsantrasyonu
C_{Th}	: Toryum aktivite konsantrasyonu
$D_{iç}$	: İç doz oranı
$D_{dış}$	: Dış doz oranı
$AEDR_{dış}$	: Dış yıllık efektif doz oranı
$AEDR_{iç}$	: İç yıllık efektif doz oranı
R_{aeq}	: Eşdeğer radyum
I_{gama}	: Gama indeksi
$H_{dış}$	: Dış tehlike indeksi
$H_{iç}$	: İç tehlike indeksi
AUI	: Aktivite kullanım indeksi
$ELCR_{dış}$	: Dış kanser riski
$ELCR_{iç}$	: İç kanser riski

Proje konusu ile ilgili literatür çalışması yapılmış olup detaylar aşağıda sunulmuştur.

1. GİRİŞ

Gama-ışın spektrometresinin gelişimi [Morley \(1969\)](#), [Killeen \(1979\)](#) ve [Darnley ve Ford \(1989\)](#) tarafından yapılan çalışmalarda net bir şekilde görülmektedir. 1960 ve 1970’li yıllarda uygun kalibrasyon standartları ve prosedürleri, 1970 ve 1980’lerde veri işleme ve renkli sunum yöntemleri, dijital veri toplama, 1980 ve 1990’larda GPS ve coğrafi bilgi sistemi analizleri (GIS) ve kendi kendini stabilize eden ve yüksek hassasiyete sahip sistemli spektrometrelerin kullanımı ile gama-ışın yöntemindeki önemli gelişmeler dikkat çekmektedir. Son zamanlarda tüm-spektrum çözüm teknikleri ([Hovgaard ve Grasty, 1997](#)) ve yeni standardizasyon prosedürleri ([Grasty vd., 1997](#)) geliştirilmiştir. Gama-ışın spektrometrisinin ilkeleri ve araştırma tekniklerinin düzenlenmesi Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu ([IAEA, 1991](#)) tarafından güncellenmiş ve [Grasty ve Minty \(1995\)](#) tarafından tam olarak daha detaylı açıklanmıştır.

Yerden gama-ışın spektrometrisi çeşitli jeolojik ortamların haritalamasında ve taban kayayı belirlemede yararlı olduğu gibi, bünyesinde fazla miktarda uranyum ve/veya değerli metalleri barındıran farklı ortamları tanımlayıcı da olabilmektedir. Uranyum dışındaki cevherlerin bulunmasında toplam radyoaktivitenin kullanımı fikri [Gross \(1952\)](#) tarafından 70 yıl önce ortaya atılmış olmasına rağmen, gama-ışın spektrometrelerinin gelişimi özellikle Potasyum (K), Uranyum (U) ve Toryum (Th) konsantrasyonları ile ilişkili geçerli radyoaktif tanımlamalar 1960’lı yıllara dayanmaktadır.

Gama-ışın spektrometrisi, üst kabuktaki toprak ve kayanın yüzeyinden 30-40 santimetre seviyesindeki potasyum, uranyum ve toryumdan yayılan gama ışınlarını ölçer. Bu radyoaktif elementlerin konsantrasyonlarındaki değişimler, genellikle kayaç ve regolith (örneğin topraklar, saprolit, alüvyal ve kolüvyal çökeller) malzemelerin mineroloji ve jeokimyasındaki değişimlerle ilişkilidir. Uranyum ve kıymetli metalik maden yataklarının belirlenmesinde alternatif bir uygulama olarak oldukça başarı gösteren bu yöntem, alterasyon ile ilişkili mineralleşme alanlarının saptanmasında da artan bir şekilde kullanılmaktadır. Potasyum mineral türlerine bakılmaksızın belirlenen potasyum konsantrasyonu, jeolojik oluşumların geniş bir yelpazede alterasyon haritalamasını sağlamaktadır. Bunlara ek olarak gama-ışın spektrometre ile yaşadığımız çevredeki jeolojik birimlerden kaynaklı radyolojik risk bu araştırmanın temelini oluşturmakta ve bu

araştırmaya bağlı literatür özetleri bölüm 1’de verilmektedir. Gama-ışın spektrometre araştırmalarında, modernleşmiş ve otomatikleşmiş cihazlar sayesinde konsantrasyonlar 1ppm U, 1ppm Th veya 0.1 %K kadar küçük bir hata oranı ile güvenilir bir şekilde belirlenebilir.

Bu çalışmanın önemini vurgulamak amacı ile insan sağlığı açısından radyolojik risk ve birçok başka amaçlar doğrultusunda bazı ülkelerin doğal gama-ışın spektrometre ölçümleri ve bu ölçümlere bağlı U, Th ve K haritalarına dikkat çekmek gereklidir. Bu ülkelere örnek olarak Kanada, ABD, Slovenya, İsrail, Avrupa birliğindeki birçok ülke verilebilir. Türkiye olarak yerinde doğal radyoaktivite ölçümleri yerel olarak küçük ölçekte akademik çalışmalar yapılmış (Örneğin Isparta, Afyon, Kırklareli, Gümüşhane, vb.) mahalle boyutunda radyoaktif konsantrasyon haritaları elde edilmiştir. Doğal gama-ışın spektrometre ölçümleri ve buna bağlı radyolojik risk haritalarının belirlenmesine yönelik böyle bir projenin ilçe ölçeğinde gerçekleşmesi ilktir ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından desteklenmesi örnek teşkil edecektir. İstanbul il ölçeğinde örnek teşkil etmesi amacıyla hem volkanik ürünlerin hem de yoğun bir sanayinin olması nedeni ile öncelikli olarak Tuzla ilçesi seçilmiştir. Bu projede Tuzla ilçesinin doğal radyoaktif elementlerin konsantrasyon haritalarının ve buna bağlı radyolojik risk haritalarının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışma sonuçlandığında hedef İstanbul il özelinde projenin genişletilmesidir. Bu durum gelişmiş ülkelerdeki radyoaktivite haritalarının hem ülke hem de il bazında yapılan çalışmalar dikkate alındığında ne denli önemli bir adım olacağı anlaşılabacaktır.

1.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Yaşadığımız dünya oluşurken radyoaktif elementlerde kaya ve toprakta yeralmaktadır. Bu radyoaktif elementler dönüşüme uğrarken dozuna bağlı olarak zararlı gama ışımaları yaymaktadır. Yayınan bu ışınlar doğal radyasyon adı verilir. Dolayısıyla doğal radyasyon yaşadığımız dünyada mevcuttur. Çevremizdeki kaya ve topraklarda az ya da çok radyoaktif elementlerin varlığından dolayı insanoğlu gamma ışınlarına maruz kalmaktadır. Çoğunlukla volkanik kayalar ve bu kayaların aşınması ve taşınıp çökmesi sonucunda oluşan zeminler doğal radyasyon kaynağı olabilir. Bu tür ortamların içerisinde birçok radyoaktif element vardır ancak uzun ömürlü radyoaktif elementler Uranyum-238, Toryum-232, Potasyum-40 ve bu elementlerin bozunma ürünleri olan Radyum-226 ve Radon-222’dir. Radyoaktif elementlerin yaydıkları gamma ışınlarının insan vücudundan geçebilme özelliğinden dolayı vücut organlarında yarattığı zararlı etkilerin yanı sıra

Uranyumun bozunmasının bir ürünü olan radon, doğal zeminden bina içine kadar nüfuz edebilmekte ve bu gazın solunması sonucunda özellikle akciğer kanserinin oluşumuna neden olabilmektedir.

Dünya’da doğal radyoaktivite çalışmalarına baktığımızda Avrupa Birliği üye ülkelerinin tamamında, Kuzey Amerika’da, Slovenya’da, İsrail-Filistin, Mısır ve Hindistan’da çalışmaların tamamlandığı görülmektedir. Ülkemizde Maden Tetkik Arama tarafından enerji hammaddesi kapsamında havadan radyometrik yöntemlerle ölçümler yapılmış ve bu ölçümler sonucunda belirli alanlarda yerde ölçümler ile enerji hammaddesi aramalarına devam edilmektedir. Ancak bu çalışmalardan elde edilen veriler Jeomedikal anlamda değerlendirilmemektedir. Ülkemizdeki Jeomedikal anlamda değerlendirmeler Isparta-Afyon-Kırklareli vb. gibi Türkiye’nin bazı illerinde parsel ölçeğinde çalışmaları kapsamaktadır.

Sendai Afet Risk Azaltma çerçevesine göre Jeomedikal tehlike bir afet türüdür. Doğal radyoaktivite de jeomedikal tehlike türü içerisinde değerlendirilmektedir. Birçok uluslararası kuruluşlar tarafından radyoaktif elementlerin dünya ortalama değerleri ve radyolojik risk açısından insan sağlığına zararlı olabilecek sınır değerler verilmiştir. Buna karşın AFAD, İrap kapsamında her ilde tehlike türlerini belirlerken radyoaktif elementlerden kaynaklı jeomedikal tehlikeyi göz ardı etmiştir. Bu durum İstanbul ve diğer illerdeki İrap dokümanlarına baktığımızda jeomedikal bir tehlike türünün ortaya konulmadığı görülmektedir.

Doğal radyoaktivite ölçümleri yerleşime uygunluk ve jeomedikal tehlikelerin belirlenmesi için İstanbul’da önerilmiş ve pilot ilçe olarak volkanik bir birim olan Sancaktepe Granitlerinin büyük bir bölümünün yer aldığı ve sanayi ile iç içe olan Tuzla İlçesi projelendirilmiştir. Bu ilçede yapılan yerinde doğal radyoaktivite çalışmaları ile ilçenin doğal radyoaktif haritaları oluşturulmuş ve bu haritalar ile [TAEK \(2010\)](#) Türkiye ortalama değerleri ve [UNSCEAR \(2000\)](#) dünya ortalama değerlerine göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Ayrıca doğal radyoaktif elementlerin aktivite konsantrasyon değerlerinden radyolojik risk haritaları oluşturulmuş ve [UNSCEAR \(2000\)](#) de verilen radyolojik risk sınır değerler ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Bunlara ek olarak çalışma alanında mevcut jeolojik birimlerdeki radyoaktif elementlerin sınırları belirlenmiştir. Sonuç olarak jeolojik birimlerde mevcut doğal radyoaktif elementlerden kaynaklı kanser etki haritası oluşturulmuştur. Elde edilen tüm radyoaktif haritalar ile mevcut jeoloji ve hidrojeoloji haritalarının karşılaştırmaları yapılmış hem tarım arazisine hem de yeraltı

suyuna etkisi yorumlanarak önerilerde bulunulmuştur. İstanbulda hazırlanan radyolojik risk haritaları açısından ilk ilçe Tuzla olmuştur ve ana amaç İstanbul ili içerisinde yeralan volkanik kayalara ve civarına bu çalışmanın uygulanmasıdır.

Bu tür çalışmalar özellikle yapılaşmaya ve yerleşim için planlamaya yön verecektir. Bu yüzden Şehir planlama, Çevre Koruma müdürlüklerine, AFAD ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği bakanlığına altlık veri teşkil edecek bir projedir.

1.2. ÇALIŞMA YERİ

İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığına bağlı Deprem ve Zemin İnceleme Şube Müdürlüğü tarafından bu proje planlanmış ve yürütülmüştür. Çalışma yeri İstanbul ilinin en güneyinde yeralan Tuzla ilçesi sınırları içerisinde kalan Orman ve Askeri alanlar hariç tüm ilçeyi kapsamaktadır. Tuzla ilçesinin batısında Pendik ilçesi doğusunda Kocaeli'nin Çayirova ilçesi yer alır. Güneyinde 13 km kıyı şeridinde sahip Marmara denizi bulunur. Deniz seviyesinden yüksekliği merkezde 25-30m Akfırat ve Orhanlı beldelerinde 250-300m'dir. Çalışma alanı genellikle alçak tepeler ve düzlük araziler şeklindedir. Tuzla ilçesinin yüzölçümü 201km²'dir. Çalışma alanı ortalama olarak 250m gridlerle ölçümlendirilmiş ve toplamda 1000 adet gama-ışın spektrometre ölçümü alınmıştır.

1.3. ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ

İstanbul ili Tuzla sınırları içerisinde büyük bir bölümü yerleşim ve sanayi yapıları, orman alanları, askeri yasak bölgeleri ve özellikle merkez ve kıyı şeridinde yakın alanların yol ya da beton ile kaplı olması gama-ışın spektrometre ölçüm alanı belirlemede güçlüklerle karşılaşmıştır. Çalışma alanı içerisinde yapılan tüm gama-ışın spektrometre ölçümlerinde GPS ölçümleri ile konum bilgisi alınmış ve fotoğraf makinası ile ölçü noktaları fotoğraflandırılmıştır. Çalışma alanında özellikle mostra vermiş jeolojik birimlerde ölçümlendirmeler yapılarak bu birimlerin mostra civarındaki dağılımları izlenmeye çalışılmıştır. Özellikle volkanik birim olan Sancaktepe granitlerinin mostra vermiş ve arenalaşmış alanlarında daha sık ölçümler yapılmıştır. Elde edilen tüm radyoaktif elementlerin ölçüm değerleri aktivite değerlerine dönüştürülmüş ve rapor içerisinde sunulan eşitlikler kullanılarak radyolojik risk parametreleri hesaplanmıştır. Ölçülen ve hesaplanan parametreler açık kaynak haritalama programı QGIS kullanılarak haritalanmıştır.

1.4. ÖNCEKİ ARAŞTIRMALAR

İstanbul ili Tuzla ilçesi sınırları içerisinde doğal radyoaktiviteyi belirlemeye yönelik bir çalışma bulunmamaktadır. Bu yapılan çalışma hem İstanbul hem de Türkiye için ilçe bazında ilk radyolojik risk çalışmadır. Ancak bu tür çalışmalara ve yerinde gama ışın spektrometre ölçüm ve farklı amaçlarda değerlendirmeler için dünyadan örnekler verilebilir.

[Galbraith ve Saunders \(1983\)](#), [Chiozzi vd. \(2002\)](#), [Uyanık vd. \(2013; 2022\)](#), volkanik kayaç örneklerindeki gama-ışın spektrometrik verilerinden K, U ve Th konsantrasyonlarına dayalı analitik verileri, çeşitli litolojik tiplerin K, U ve Th içeriği ile karşılaştırmışlardır. Gama-ışın ölçümleriyle litolojik sınıflamanın başarı ile yapılabildiğini göstermişlerdir.

[Aissa ve Jubeli \(1997\)](#), Suriye'nin Homs bölgesinin doğusunda neojen formasyonların bünyesindeki çeşitli litolojik birimlerin, 294km²'lik bir alanda Potasyum, Uranyum ve Toryum konsantrasyonları ile toplam radyoaktivite değerleri ile ayrılabilceğini göstermiştir. Bu nedenle yöntemin jeolojik haritalamalarda yardımcı bir yöntem olarak kullanılabileceğini belirtmektedir.

[Menon vd. \(2003\)](#), Uranyum ve Toryum Zirkon, Allanit, Titan, Apatit (Ca-fosfat) vb. ikincil minerallerde yaygın olarak bulunurken, potasyumun, çoğu mika ve potasyumlu feldspatlarda bulunduğu işaret etmişlerdir.

[Aydın vd. \(2006\)](#), radyoelement konsantrasyonu bakımından zengin olan Orta Anadolu'daki volkanik veya mağmatik kayaçlar üzerinde havadan yapılan etütlerin spektrometrik verilerini kullanmışlardır. Radyoaktif mineral aramalarında kullanılan havadan gama ışın spektrometri verilerinin, volkanik veya mağmatik kayaçların petrokimyasal sınıflamasında ek bir yöntem olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir. Granit, monzonit, siyenit gibi asidik sokulumlar üzerindeki araştırma verileri ile radyoelement konsantrasyonlarının geniş bir aralıkta olduğunu ortaya koymuşlardır (Potasyum için %2-6, Uranyum için 3-15ppm ve Toryum için 10-52ppm).

[El-Glay vd. \(2008\)](#), Mısır'da GD Sina'da Wadi Naseib bölgesindeki tortul kayaçların doğal radyoaktivitesini ve bunların çevresel etkilerini incelemişlerdir. Birçok radyolojik risk parametresi hesaplanmıştır. Bölgedeki kayaçlar erken-geç paleozoik yaşlı olup, bir kısmında mineralleşmeler gözlenirken, bir kısmında da mineralleşmeler gözlenmemiştir. Bölgedeki radyometrik incelemeler, mineralize olmuş kayaçlarda uranyum ve toryum

içeriğinin sırasıyla 710 ve 520ppm'e kadar yükseldiğini göstermiştir. Bu artış, bazı ikincil Uranyum minerallerinin varlığına dayandırılmıştır. Mineralleşmemiş tortullarda, maruz kalma ve doz oranları halk sağlığı açısından güvenlik sınırlar içinde bulunmuştur. Beklenen düşük çevresel etkiler sınırlı U mineralizasyona dayandırılmıştır. Doğal radyasyon kaynaklarının yüksek oranda olduğu bölgelerin ve bu bölgelerden sağlanan ham maddelerin olası çevresel etkilerinden kaçınmak için bazı önlemler ve öneriler öne sürülmüştür.

Avrupa Birliği üye ülkelerinin tamamı doğal radyasyon oranını belirlemek amacıyla U, Th, K konsantrasyon haritalarını oluşturmuş, Avrupa Doğal Radyasyon Atlası şeklinde yayınlamış ve haritaları web ortamında sunmuştur. Atlasta doğal radyasyon kaynakları nelerdir? Radon gazı nasıl oluşur ve etkileri nelerdir? Toprak ve kayaçlarda bulunan radyonüklidlerin soluma, yiyecek ve içme suyu yoluyla insan vücuduna nasıl girdiği konularında bilgiler verilmektedir ([European Atlas of Natural Radiation, 2019](#)).

İsrail Jeoloji Araştırma Merkezi tarafından, İsrail ve komşu ülkelerinde, havadan radyometrik yöntem ile ölçümler alınmış daha sonra yerden tamamlayıcı ölçümlerle doğal radyoaktivite haritaları oluşturulmuştur. Jeolojik ortamlardan kaynaklanan doğal radyoaktivitenin insan sağlığına etkisini ortaya koymak için yıllık doz oranı haritası ve radon konsantrasyon haritası ([Shirav ve Vulkan, 1997](#)) oluşturulmuştur. Jeoloji haritası ile yapılan karşılaştırmada genç bazalt birimlerde Th ve K, Fosforit içerikli tabakalarda ise U'un yüksek olduğu ve buna bağlı olarak radyoaktivitesi de yüksek belirlenmiştir ([Shirav vd., 1998](#)).

Amerikan Jeolojik Araştırma Merkezi (USGC), Kanada Jeolojik Araştırma Merkezi işbirliği ile Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada'da havadan radyometrik yöntem ile ölçümler yaparak U, Th, K dağılımını belirlemiştir. ABD ve Kanada hükümetleri 1973 yılında OPEC petrol ambargosu nedeniyle enerji hammaddesi arayışına girmiş, Uranyum aramalarına teşvikler vermiştir. Bu vesile ile radyoaktif elementlerin aranması hız kazanmış, veriler toplanmıştır. 2000'li yıllardan sonra bu veriler jeomedikal anlamda değerlendirilmeye başlanarak soğurulan doz ve ışın maruziyeti haritaları oluşturulmuştur ([Duval vd., 2005](#)).

Volkanik bölgelerdeki volkanik kayaların doğal radyonüklidleri bol miktarda olabilir. Buna bağlı birçok araştırmacı yerinde gama ışın spektrometre çalışmalarını uygulamışlar ve volkanik kayaların bulunduğu alanlarda ölçülen gama radyasyon değerlerinin oldukça

yüksek olduğunu ifade etmişlerdir (Örnek: [Chiozzi vd. 1998](#); [Bochiolo vd. 2012](#); [Uyanık vd. \(2010; 2013; 2020; 2022\)](#); [Akingboye vd. 2021](#); [Uyanık 2022](#)). Ayrıca bu kayaçların ayrışması sonucu oluşan kumlarda veya çökeltilerde çok yüksek gama radyasyonları olduğu birçok araştırmacı tarafından belirtilmiştir (Örnek: [İbrahiem vd. 1995](#); [Malanca vd. 1996](#); [Ahmad vd. 1997](#); [Ajayi ve Kuforiji 2001](#); [Matiullah vd. 2004](#); [Xinwei 2004](#); [Yang vd. 2005](#); [Singh vd. 2005](#); [Xinwei ve Xiaolan 2006](#); [Küçükömeroğlu vd. 2008](#); [Xinwei vd. 2008](#); [Sulekha Rao vd. 2009](#); [Mehra vd. 2010](#); [Uyanık vd. \(2015a; 2015b\)](#); [Fares 2017](#); da [Costa Dantas vd. 2020](#); [Aziz vd. 2020](#); [Abojassim ve Rasheed 2021](#)).

[Elster ve Geitel \(1902\)](#), mağaradaki radyoaktivite artışının sebebinin mağara içindeki toprak ve kayalardan kaynaklandığını ve yerin sürekli olarak radyoaktivite ürettiğini belirtmişlerdir. [Uyanık vd. \(2013\)](#) özellikle volkanik bölgelerde yerleşim yeri seçerken doğal radyoaktivite ölçümlerinin insan sağlığı açısından önemini vurgulamıştır. Kaya ve toprakta doğal olarak bulunan radyoaktif mineraller arka plan radyasyonu üretirler ve bu radyasyonu belirlemede en iyi yöntemin radyometri olduğu bilinmektedir. Ayrıca radyoaktif minerallerin aktivite konsantrasyonlarının ölçülen ortalama değerlerinin radyasyon tehlike indekslerinin hesaplanmasında kullanılabileceğini birçok çalışma göstermiştir (örn. [Aydın vd. 2006](#); [Faheem vd. 2008](#); [Uyanık ve Akkurt 2010](#); [Uyanık vd. \(2011; 2012\)](#); [Ali vd. 2018](#); [Frutos vd. 2019](#)). Yer yüzeyinden kaynaklanan gama radyasyonunun aralığı 24-160 nGy/h arasında değişmekte olup, yerden kaynaklanan ortalama kabul edilebilir doz oranı [UNSCEAR \(2000\)](#) raporunda 55nGy/h olarak ifade edilmektedir ([Uyanık 2022](#)).

Yaşadığımız yerden kaynaklanan uzun süreli radyoaktiviteye maruz kaldığımızda ciddi sağlık sorunları (örneğin akciğer kanseri) ortaya çıkabilir. [ATSDR \(1990; 1992; 1999\)](#) tarafından Uranyum veya Radyum elementlerinin bol olduğu bölgelerde insan sağlığı açısından diş kırıkları, anemi, gözlerde katarakt gibi hastalıklara ve çeşitli kanser türlerine neden olabileceği ifade edilmektedir. Benzer şekilde toryumun yoğun olduğu bölgelerde karaciğer, akciğer, böbrek, pankreas, kemik kanserleri, lösemi gibi hastalıklar oluşabilmektedir ([ATSDR \(1990; 1992; 1999\)](#)). [Almahi vd. \(2012\)](#), Malezya-Penang'da yerin doğal radyoaktivitesini ölçtüler ve yüksek doğal radyoaktivitenin kanser prevalansının yüksek olmasının nedeni olduğunu belirttiler. [Kureysi vd. \(2014\)](#), Pakistan'ın kuzeyinde nehir tarafından taşınan tortular üzerinde gama ışını spektrometrisi ölçümlerini gerçekleştirdiler ve kanser riskini hesapladılar ve Pakistan'ın kuzey bölgelerinde yüksek radyoaktivite ile ilişkili olabilecek birçok kanser ölümünü bildirdiler.

Sonuç olarak, Pakistan'ın kuzey bölgelerinde yüksek radyoaktiviteden çok sayıda kanser ölümü olduğunu belirtmişlerdir. [Frutos vd. \(2019\)](#), Madrid'deki vaka çalışmasına dayanarak kentsel araziye, binaları ve potansiyel olarak radon riskine maruz kalan insanları belirlediler. [Aziz vd. \(2020\)](#), Port Said kıyı şeridi boyunca doğal radyoaktivite çalışmaları yürütmüş ve çalışma alanının radyolojik parametrelerini ve bunun insan sağlığı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, beta ve alfa radyasyonlarına göre havada daha uzun mesafeler kat edebilen gama radyasyonu, insan sağlığı üzerinde zararlı etkilere neden olmaktadır. Bu durumda insan sağlığı açısından radyasyon tehlike indekslerinin sınırlarını aşabilecek alanlar kentsel yerleşime açılmamalıdır ([Uyanık, 2022](#)).

Bu çalışmada, Türkiye'nin İstanbul ili Tuzla ilçe sınırları içerisinde yerinde doğal radyoaktivite ölçümleri volkanik ürünlerin bulunduğu alanlarda 250 x 250 ve diğer alanlarda 500 x 500 gridlerle yapılmıştır. İlköl ölçümler sonucunda Sancaktepe Granitinin bulunduğu bazı kesimlerde ölçüm aralıkları sıklaştırılarak devam edilmiştir. Çalışma alanındaki farklı jeolojik birimlerde alınan doğal radyoaktivite ölçümlerinden elde edilen radyoaktif elementlerin konsantrasyon değerlerinden radyolojik risk parametrelerine bağlı radyolojik risk ve kanser etkisi tahmin edilmiş ve sonuçlar mikrobölgeleme haritaları ile sunulmuştur.

1.5. KATKI BELİRTME

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Dairesi Başkanlığı, Deprem ve Zemin İnceleme Şube Müdürlüğü (DEZİM) tarafından planlanan ve uygulama için gerekli tüm araç, gereç, konaklama vb. lojistik gereksinimleri sağlayan ve yakın ilgi gösteren Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Dairesi Başkanı Mimar Özlem TUT'a Deprem ve Zemin İnceleme Şube Müdürü Jeofizik Mühendisi Kemal DURAN'a teşekkür ederiz.

Hem saha hem de büro çalışmaları sonucunda saha ölçümlerinde yönlendirme ve hazırlanan rapora yapıcı eleştirileri ile katkı koyan projenin kontrol teşkilatında yeralan Jeoloji Yüksek Mühendisi Gülçin TÜRKKAN KARAOĞLU'na, Jeofizik Yüksek Mühendisi Burak ÇATLIOĞLU'na, Jeoloji Mühendisi İskender AKMEŞE'ye, Jeofizik ve Jeoloji Mühendisi Duygu KAHVECİ'ye ve Jeofizik Yüksek Mühendisi Yasin Yaşar YILDIRIM'a içten teşekkür ederiz.

Çalışma sahalarına ait jeoloji ve haritası (İBB (2011) den derlenmiştir).

2. JEOLojİ

2.1. GENEL JEOLojİ

İstanbul ili ve yakın civarı Erken Paleozoyik'ten Günümüz'e değin geniş bir zaman aralığında oluşmuş çeşitli kaya birimlerini kapsar. İstanbul İl sınırları içinde biri metamorfik olan diğeri metamorfizma göstermeyen iki büyük istif yer alır. Önemli bir tektonik hatla birbirinden ayrılan, bu iki guruptan metamorfizma gösteren istif Istranca masifi, metamorfizma göstermeyen istif ise "İstanbul Napı" (Şengör vd.1984), İstanbul Zonu ve İstanbul Birliği (Özgül, 2005) adlarıyla bilinmektedir. Istranca Birliği'nin stratigrafisi ve temelini oluşturan kaya birimlerinin niteliği henüz yeterince açıklığa kavuşturulamamıştır. İstanbul Birliği'nin ise Bolu yöresinde açığa çıkan Protorezoik kristalin bir temeli örten ve Ordovisiyen-Erken Karbonifer aralığını temsil eden transgressif Paleozoyik çökelleriyle Permiyen-Erken Triyas karalaşma evresini izleyen Orta-Geç Triyas ve Geç Kretase-Erken Senozoyik yaşlı kaya birimlerini kapsadığı bilinmektedir. Okay ve Tüysüz (1999) İstanbul Zonu (İstanbul Birliği) ile Balkanlar'da Moezya platformunun Paleozoyik istifleri arasındaki stratigrafik benzerliğe dayanarak, İstanbul Birliği'ni oluşturan istifin Kretase süresince güneye ilerlediğini ve Istranca metamorfitleriyle yan yana geldiğini savunur. Aynı araştırmaya göre İstanbul Birliği'ni oluşturan istifin, güneyde bulunduğu varsayılan İntra-Pontid okyanusunun kapanmasıyla Sakarya Zonu ile çarpışmış olmalıdır. Ancak İBB (2011)'e göre, söz konusu iki birlik arasında, metamorfizma dışında, gözardı edilmemesi gereken benzerlikler de bulunmaktadır. Örneğin, Çatalca yöresinde yüzeyleyen metamorfitler içinde İstanbul Birliği'nin Alt Karbonifer yaştaki Trakya Formasyonu'nun egemen kayatürünü oluşturan kumtaşları arasında şaşırtıcı benzerlik vardır. Mahya Gurubu ya da Mahya formasyonu (Çağlayan ve Yurtsever,1998) adıyla bilinen Erken Triyas metamorfitleri, İstanbul Birliği'nin yaşıtlı kaya birimleriyle yakın benzerlik gösteren kayaçların metamorfizma geçirmiş karşılıkları gibi gözükmetedir. Diğer yandan, her iki birliktede Permiyen ve Üst Kretase yaşlı granitik intrüzifler yer alır. Dolayısıyla Istranca Birliği'nin söz konusu bölgesel yanal atımlı yer değiştirme yerine, İstanbul Birliği'nin yanal yönde uzanımını oluşturan istiflerin metamorfizma sonrası düşük açılı hareketle İstanbul Birliği'ne doğru ilerlemiş olabileceği olasılığı da gözardı edilmemelidir. Metamorfitler üzerinde yapılacak ayrıntılı incelemeler sonunda bu sorunların çözümü için daha doyurucu verilerin sağlanması beklenir (İBB, 2011).

2.2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

İstanbul il sınırları içerisinde kalan alanlar Erken Paleozoyik'den günümüz aralığında birçok kaya birimleri oluşmuş ve güncel tektoniğin etkisinde olan Marmara Bölgesinde yer almaktadır. Çalışma alanı İstanbul İli Tuzla İlçesini kapsamaktadır.

Tuzla ilçesi alanında yer alan jeolojik birimler İBB (2011) den doğrudan alınarak aşağıdaki şekilde sıralanmıştır.

1. İstanbul Birliği içerisinde yer alan Polonezköy Grubundaki Kocatöngel ve Kurtköy formasyonları ve yine İstanbul Birliği içinde yer alan Aydos, Yayalar, Pelitli, Pendik, Denizli Köyü formasyonları
2. Neojen Kaya-Stratigrafi birimleri içerisinde yer alan Sultanbeyli, Kuşdili formasyonları ve Güncel birikintiler
3. Mağmatizmanın bir ürünü olan Sancaktepe Graniti

2.2.1. İSTANBUL BİRLİĞİ

Kocatöngel Formasyonu (Opkc): Başlıca laminalı miltaşı, kıltaşı ve ince taneli kumtaşından oluşan formasyonun, Sakarya ilinin KD'sunda Çamdağ-Kocatöngel köyü dolaylarında yüzeylemeleri Yazman ve Çokuğraş (1983) tarafından “Kocatöngel formasyonu” adıyla incelenmiştir. Koyu yeşil, yeşilimsi külrengi, günlenme yüzeyi açık kahverengi, boz miltaşı-kıltaşı formasyonun egemen kayatürünü oluşturur. Kocatöngel formasyonu, Tuzla ilçesi sınırları içerisinde yüzeylediği alanlar İBB (2011) tarafından hazırlanan jeoloji haritasında belirtilmiştir (Şekil 2.1). Formasyonun egemen kayatürünü oluşturan fosilsiz, milimetrik boyutlu, açıklı koyulu renk ardalılaması gösteren laminalardan oluşan varvli yapısı, mevsimsel donmaların, dolayısıyla anoxic koşulların etkin olduğu buzul ya da buzul çevresi ortam koşullarının etkin olduğunu düşündürmektedir (İBB, 2011).

Kurtköy Formasyonu (Opk): Bu formasyon açıklı koyulu mor-eflatun, şarabi renkli, arkoz bileşimli, kumtaşı, miltaşı, kıltaşı ve çakıltaşıdan oluşur. İstifin alt kesiminde kumtaşı arakatlı, ince laminalı kıltaşı-miltaşı (*Bakacak Üyesi, Opkb*), üst kesiminde ise değişik boyutlarda çakıltaşı mercek ve ara düzeylerini içeren kaba kumtaşı (*Süreyyapaşa Üyesi, Opks*) egemendir. Kurtköy formasyonunun bulunduğu alanlar Tuzla ilçesinin Jeoloji haritasında gösterilmiştir (Şekil 2.1). Süreyyapaşa Üyesi, büyük bölümüyle mor-eflatun-şarabi, yer yer yeşilimsi kül rengi, orta-kalın katmanlı, mor-şarabi miltaşı-kıltaşı ara katlı kaba taneli kumtaşından oluşur.



Miltaşı-kiltaşı ara düzeylerinin kalınlığı birkaç cm ile 30-40cm arasında değişir. Kumtaşı orta-zayıf boylanmalı yer yer derecelenmeli, yuvarlanmış - yarı yuvarlanmış, sıkı çimentolanmış, süt kuvars, kuvarsit, çakmaktaşı (chert), mağmatit ve metamorfit gereklidir. Yüksek oranda feldispat, mika vb. dayanımsız bileşen içeriğinden dolayı kolay ayrışır. Özellikle fay ve makaslama zonlarında ve Sultanbeyli ve Aydos formasyonları tarafından üstlendiği kesimlerde dokanak zonu boyunca, ayrışarak, sarımsı boz, kirli beyaz, kızılımsı kahverengi, açık mavimsi renklerin karışımından oluşan alacalı renkte, kil oranı yüksek dayanımsız kaya niteliği kazanır. İstif, değişik düzeylerinde, boyutları birkaç metre ile onlarca metre arasında değişen, irili ufaklı çakıltaşı mercikleri içerir. Çakıltaşları mor, yeşil, külrengi, yarı yuvarlanmış-yarı köşeli, orta-zayıf boylanmış, yer yer derecelenmiş, kaba kumlu hamurla sıkı tutturulmuş, başlıca süt kuvars, kuvarsit, çakmaktaşı, granitik ve gabroyik magmatit, volkanit ve şist kökenli çakıl ve çakılcıkları kapsar; seyrek kumtaşı-miltaşı arakatmanlıdır (İBB, 2011).

Kınalıada Formasyonu (Ok): Kınalıada formasyonu başlıca kumtaşı, miltaşı; ince-orta-kaba kum boyu kuvars, feldispat ve mikalı gereç ile kil ve üst kesimlerinde silis çimentolu kumtaşı-miltaşından oluşur. Bu formasyon Manastır Tepe Üyesi ve Gülsuyu Üyesi olarak iki üyeye ayrılmıştır (İBB, 2011). Bu formasyonun Gülsuyu üyesi Tuzla ilçe sınırları içerisinde yüzeylemektedir. Gülsuyu üyesi Kınalıada formasyonunun alt düzeyini oluşturur ve feldispatlı kuvarsvake-subarkoz türü miltaşı, kumtaşından meydana gelir. Genellikle kirli beyaz, mor, külrengi, ayrışmış sarımsı kahverengi, benekli, ince-orta-kalın katmanlı, kama, tabla ve tekne tipi çapraz katmanlı yer yer laminalı, formasyonu içi (intraformational) miltaşı-kiltaşı çakıllı, yer yer dalga kırışıklı (ripple mark) kumtaşı-miltaşı birimin egemen kayatürünü oluşturur. İnce-orta-kaba kum boyu, orta-iyi boylanmış ve derecelenmiş, yuvarlanmış kuvars, serisitleşmiş ve kaolenleşmiş feldispat ve opak taneli, bol mika pulludur. Serisitleşmiş-kaolinleşmiş feldispat hamur kapsar. Birim yer yer mor renkli arkozik kumtaşı arakatlıdır. Tip kesit yerinde istif üst düzeyinde şarabi kırmızı renklidir ve kuvars gereç oranı alt düzeylere oranla artar. Gülsuyu Üyesi'nin bol feldispatlı kırıntılıları, özellikle Adalar'daki yüzeylemelerinde, genellikle hidrotermal ayrışma sonucu ilksel dokularını önemli ölçüde yitirmiştir. Feldispat vb. dayanımsız mineral kapsamından dolayı genellikle bozunmuş olan formasyon (özellikle Gülsuyu Üyesi), Başbüyük ve Gülsuyu dolaylarında Aydos ve Kayış Dağı eteklerinde, Kurtköy formasyonu ile Aydos formasyonu arasında yumuşak bir zon oluşturur (İBB, 2011).

Aydos Formasyonu (Oa): Aydos formasyonu büyük bölümüyle silis çimentolu, iyi boylanmış ve yıkanmış kuvars taneli kuvarsarenitlerden oluşur. Aydos dağının doğu ve kuzey yamaçları boyunca Kurtköy formasyonu'nun üzerinde genellikle Başbüyük Çakıltası Üyesi ile başlar ve yüksek tepelere doğru Ayazma Kuvarsit Üyesi geniş alan kaplar. Bu formasyon Tuzla ilçe sınırları içerisinde yer almaktadır ve Tuzla merkezine göre Güney, Batı ve Kuzey kesimlerinde jeoloji haritasında gösterilmiştir (**Şekil 2.1**). Formasyon büyük bölümüyle kuvarsitlerden (kuvarsarenit) oluşur, alt düzeyinde çakıltası mercek ve düzeylerini kapsar; yeryer değişen oranda killi miltaşı-şeyil arakatkıdır. Aydos formasyonu 1) Başbüyük Üyesi, 2) Kısıklı Üyesi ve 3) Ayazma Kuvarsit Üyesi ve 4) Tarla Tepe Üyesi adlarıyla 4 üyeye ayırtlanmıştır (**İBB, 2011**).

Aydos formasyonu Kurtköy ve Kınalıada formasyonlarını üstler. Formasyon çoğu yerde, Başbüyük Çakıltası Üyesi'nin mor-bej renkli kaba kum boyu taneli, kuvars çakıllı, silis çimentolu kuvarsit ve çakıltası katmanlarıyla başlar. Bazı bölgelerde, örneğin Büyükçamlıca tepesinin kuzey eteğinde, arkozların üzerinde doğrudan bej renkli, ince kıvrımsı mavimsi şeyil arakatkı kuvarsarenit katmanlarıyla oturur. Formasyonun alt dokanağı, genellikle yamaç molozu, kollüviyal birikinti, toprak vd güncel birikintilerle örtülüdür, Çok seyrek olarak alt dokanağının açığa çıktığı yüzeylemelerinde, örneğin Tuzla Piyade Okulu sahasında yer alan Tavşan tepesinde, Aydos kuvarsitlerinin 1-2m kalınlıkta kuvars çakıllı çakıltası düzeyi ile Kurtköy formasyonu'na ait arkozları açısız uyumsuzlukla doğrudan üstlediği görülür. Aydos formasyonu, Yayalar formasyonu tarafından uyumlu üstlenir. Kurtköy formasyonu ile Yayalar formasyonu arasında az çok sürekli kılavuz birim niteliği taşıyan Aydos formasyonu, yanal ve düşey yönde sıkça kalınlık ve fasiyes değiştirir (**İBB, 2011**). Aydos formasyonunun Tuzla ilçesi sınırları içerisinde Başbüyük ve Kısıklı Üyeleri yüzeylemektedir. Başbüyük Çakıltası Üyesi, açık morumsu, kremrengi, başlıca süt kuvars çakıllı, silis çimentolu çakıltasından oluşur. Seyrek olarak kayrak ve volkanit çakıllıdır. Çakıllar yuvarlanmış-yarı yuvarlanmış, zayıf boylanmış olup mor, boz, kremrengi kaba kum taneli hamur içinde mercek, ya da saçılmış olarak bulunurlar. Orta-kalın katmanlı, koşut ve çapraz laminalıdır; derecelenme, merceklenme ve kamalanma yapıları yaygındır. Ayazma Kuvarsit Üyesi'nin kuvarsarenit katmanlarıyla yanal ve düşey geçişlidir (**İBB, 2011**). Kısıklı Üyesi ise Büyük ve Küçük Çamlıca tepelerinin eteklerinde, Aydos formasyonu'nun alt düzeyinde çamurtaşı-miltaşı düzeyini kesmiştir. Ayazma Kuvarsit Üyesi'nin kuvarsarenit katmanlarıyla giriktir. Dış etkenlere karşı dayanımsız ve kolay aşınabilir olan birim, genellikle toprak örtüsü ve

üstündeki kuvarsitlerden türeyen yamaç molozu ile kaplı bulunduğundan, incelemeye elverişli yüzeyleme vermemektedir. Dolayısıyla Kısıklı Üyesi'nin kayatürü özelliklerine ilişkin veriler sondaj karotlarından sağlanabilmiş ve yeşilimsi koyu gri, kahverengi, yer yer alacalı renkli çamurtaşı-miltaşı Kısıklı Üyesi'nin egemen kayatürünü oluşturur (İBB, 2011).

Yayalar Formasyonu (OSy): Büyük bölümü bol mika pullu kum-mil boyu kırıntılı kayaçlardan oluşan Yayalar formasyonu tane türü ve çimento kapsamına göre Gözdağ, Umur Deresi ve Şeyhli Üyeler olmak üzere üçe ayrılmıştır. Bu üç üyede çalışma alanı içerisinde yüzeylemektedir (Şekil 2.1) ancak günümüzde yerleşim yapılarıyla, Organize sanayinin hafriyat malzemeleri ile büyük oranda doldurulmuş ve yüzeylemelerin çoğu dolgu altında kalmıştır. Gözdağı üyesi; yayalar formasyonunun büyük bölümünü oluşturur ve ince taneli, mika pullu kumtaşının egemen olduğu birim kara-koyu yeşil, mavimsi külrengi, ayrıışmış açık kahverengi, boz, orta-kalın katmanlıdır. Başlıca yarı yuvarlanmış, orta-iyi boylanmış, ince-orta kum boyu kuvars, çakmaktaşı, feldispat, az oranda mafik gereç ve bol mika pulu içerir. Genellikle serizitleşmiş hamurlu ve yer yer silis çimentoludur. Kuvarsvake, feldispatik vake türü kumtaşı egemendir. Taze iken sert ve dayanımlıdır; yüzeylemelerinin üst düzeyinde genellikle, 2-10m arasında değişen kalınlıkta kil kapsamı yüksek bozunma zonu gelişmiştir; fay ve makaslama zonları boyunca yer yer ileri derecede ayrıışmıştır. Umur Deresi Üyesi; Gözdağ Üyesi'nin bol mikalı boz renkli tekdüze kumtaşı katmanlarının üzerinde, yeşil, mor-bordo renkli ve kil-mil boyu daha ince gereçli oluşuyla sahada kendini belli eder. Yer yer oolitli, şamozitli düzeyleri kapsar. İstifin üst düzeylerinde seyrek olarak, brakyopod, krinoid vd. makrofosil kapsar. Çengelköy-Bekar deresinde, Tuzla Piyade Okulunun E5 (D100) karayolunun kuzeyinde kalan eğitim sahasında ve aynı bölgede Umur deresi vadisinde yüzeylemeleri vardır. Şeyhli Üyesi; Yayalar formasyonu'nun üst kesimlerinde kalınlığı yerden yere değişen feldispatlı kuvarsit düzeyi yer alır. Yer yer, yuvarlanmış kuvars çakılcıklı ara düzeyler içerirler; çoğunlukla silis çimentoludur ve az oranda kil hamur içerir. Pembemsi bej, kirli beyaz, orta-kalın katmanlı, katman yüzeyleri kimi düzeylerde yeşilimsi renkli, yer yer kloritleşmiş ince kil sıvalıdır; yer yer miltaşı, şeyil ara katkılıdır. Şeyhli Üyesi Tuzla Piyade Okulu'nun kuzeyi ile Aydınlı semti arasında kalan geniş alanda, Soğanlık semtinin kuzey ve batı kesiminde, Org. Nurettin Baransel Zırhlı Tugayı sahasının doğu kesiminde, Gözdağ tepesinin üst kotlarında ve Tuzla Askeri Tersanesi'nin

kıyı kesimlerinde yüzeylemektedir. Yayalar formasyonu, Aydos formasyonu'nu uyumlu üstler (İBB, 2011).

Pelitli Formasyonu (SDp): Pelitli formasyonu büyük bölümüyle şelf tip neritik karbonatlardan oluşur ve değişik düzeylerinde değişen oranda genellikle ince arakatkılar halinde kil-killi kireçtaşı-kireçli kiltası düzeylerini içerir. Tuzla ilçe sınırları içerisinde Tuzla merkezinin GB kesiminde yüzeylemektedir (Şekil 2.1). Pelitli formasyonu Yayalar formasyonu'nu uyumlu olarak üstler iken Pelitli formasyonu Pendik formasyonu'nun Kartal Üyesi'ne ait mika pullu şeyilleri tarafından uyumlu üstlenir. Pelitli formasyonu değişik fasiyeste karbonatların çökeldiği şelf ortamı koşullarını yansıtır. Formasyonun Dolayoba Kireçtaşı Üyesi resif ortam koşullarını temsil eder. Formasyonun büyük bölümünü oluşturan Sedefadası Kireçtaşı Üyesi resif kenarı ve düşük enerjili, yer yer kapalı (restricted) şelf ortam koşullarını yansıtır. Formasyonun üst düzeyini oluşturan, değişen oranda kil kapsamlı yumrulu kireçtaşlarıyla temsil edilen Soğanlık Kireçtaşı Üyesi şelf ortamının giderek derinleştiğini şelf-yamaç arası nitelik kazandığını düşündürür (İBB, 2011).

Pendik Formasyonu (Dpk): Pendik formasyonu büyük bölümüyle, mika pullu, kil-mil boyu ince kırıntılı kayaçlardan oluşur; belirli düzeylerinde özellikle üst kesimlerinde kireçtaşı arakatkılıdır. Tuzla ilçe sınırları içerisinde Tuzla merkezinin GB kesiminde yüzeylemektedir (Şekil 2.1). Formasyon 1) Kartal Üyesi ve 2) Kozyatağı Kireçtaşı Üyesi olmak üzere iki üyeye ayrılmıştır (İBB, 2011). Pendik formasyonu Pelitli Kireçtaşı'nı geçişli olarak üstler iken Pendik formasyonu Denizli Köyü formasyonu tarafından uyumlu olarak üstlenir. Pendik formasyonu'nun büyük bölümünü oluşturan kara-koyu külrengi, bol makrofosil kavkılı, bol mika pullu, kil, mil, ince kum boyu ince gereçli tekdüze kırıntılı kayaçlar (Kartal Üyesi), karadan getirimin bol ve organik işlevlerin yoğun olduğu, düşük enerjili (dalga tabanının altı) şelf ortam koşullarını yansıtır. Makrofosil kavkılarının genellikle iyi korunmuş olması ve istifin ayrışmamış bol mika pulu kapsamı birikme ve çökelmenin hızlı olduğunu gösterir. Kil, killi kireçtaşı ve seyrek olarak da bol makrofosilli biyoklastik kireçtaşı arakatkılı olan mikrit türü kireçtaşının yoğun olduğu Kozyatağı Üyesi'nin çökelim süresince, karadan getirimin az olduğu şelf koşullarının etkin olduğunu gösterir (İBB, 2011).

Denizli Köyü Formasyonu (DCd): Tuzlanın kıyısında yer yer yüzeyleyen formasyon (Şekil 2.1), başlıca kireçtaşı, killi kireçtaşı, yumrulu kireçtaşı ve liditleri (radyolaryalı çakmaktaşı) kapsar; değişen oranda ince şeyil arakatkılıdır. Formasyon alttan üste doğru

1) Tuzla Kireçtaşı Üyesi, 2) Yürükali Üyesi, 3) Ayineburnu Üyesi ve 4) Baltalimanı Üyesi olmak üzere dört üye adı altında İBB (2011) tarafından incelenmiştir. Tuzla Kireçtaşı üyesi (DCdt) başlıca, mikritik kireçtaşı-killi kireçtaşından oluşur; çoğunlukla, 5-10cm'yi geçmeyen kalınlıkta ve değişen oranda kıltaşı, şeyil arakatkılıdır. Bazı düzeylerde mikritik kireçtaşı egemendir. Denizli Köyü formasyonu, Pendik formasyonunu uyumlu olarak üstler iken Denizli Köyü formasyonunun en altta yer alan birimini oluşturan Tuzla Kireçtaşı Üyesi, Yürükali Üyesi tarafından uyumlu olarak üstlenir (İBB, 2011).

Ayineburnu ve Baltalimanı üyelerinin liditleri havzada yoğun silis getirimini sağlayan bir kaynağı gerektirir. İstif içinde yaşıt volkanik arakatkılar görülmemiş olmasına karşın, bu denli yoğun silis getiriminin havza dışındaki volkanik bir etkinlikten sağlanmış olduğu düşünülebilir. Kıltaşı-şeyil arakatkılı yumrulu görünüşlü kireçtaşı katmanlarında, kaba kum boyu fosil kırıntılarının yoğun oluşu, buna karşılık türbiditik yapıların bulunmayışı, düşük enerjili duraylı açık şelf-kıta yamacı ortam koşullarıyla açıklanabilir (İBB, 2011).

2.2.2. NEOJEN KAYA-STRATİGRAFI BİRİMLERİ

Sultanbeyli Formasyonu (Ts): Tuzla ilçesi sınırları içerisinde Tuzla merkez, güney ve Marmara kıyı şeridinde geniş bir alanı kapsayan Sultanbeyli formasyonu, tutturulmamış, yer yer bloklu, kum, çakıl, mil boyu gereçten oluşur. Formasyon egemen kayatürü özelliklerine göre 1) Orhanlı Üyesi, 2) Dudulu Üyesi, 3) Tuğlacıbaşı Üyesi 4) Altıntepe Üyesi ve 5) İkiz Tepeler Üyesi olarak üyelere ayırtlanmıştır (İBB, 2011). Sultanbeyli formasyonunun üyeleri içerisinde İkiztepeler üyesi (Tsi) genellikle Sancaktepe graniti ve yer yer de kocatöngel formasyonunun yüzeylediği alanlardaki sırtların üzerinde yaklaşık 200m kotlarında yer alan ince kum-çakıl birikintileri mevcuttur. Çoğunlukla, ayrışarak arenaya dönüşmüş olan Sancaktepe Graniti'nin yaygın olduğu alandaki sırtlarda korunmuş olan İkiz Tepeler Üyesi, büyük oranda granitden türemiş yarı yuvarlanmış, orta boylanmış kuvars ve ayrışmış feldspat taneler içerir. Sultanbeyli formasyonu Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı kaya-stratigrafi birimlerini açısız uyumsuzlukla üstler. Sultanbeyli formasyonu birbirinden farklı ortam koşullarını yansıtan karasal birikintileri kapsar (İBB, 2011).

Kuşdili Formasyonu (Qkş): Formasyon kara-koyu mavimsi külrengi, koyu yeşil, genellikle organik kapsamı yüksek, yer yer, kömürleşmiş bitki parçalı haliç-kıyı gölü çökellerinden oluşur. Yüksek oranda kil ve su kapsamı nedeniyle yumuşak, kıvamlı ve yüksek plastisitelidir. İstif bazı düzeylerinde kahverengi, kumlu killi, çakılcıklı alüvyon

birikintileriyle ara katkılıdır. Bol organik kapsamlı, ince kavkılı makrofosilli, kömürleşmiş bitki kırıntılı koyu renkli kil, mil, çamurdan oluşan Kuşdili formasyonu, düşük enerjili su sirkülasyonunun sınırlı olduğu haliç ve/ya da kıyı gölü-lagün koşullarını yansıtır (İBB, 2011). Kuşdili formasyonu Tuzla ilçe sınırları içinde yer alan Abduş Gölü'nün güney ve batı kıyılarındaki sondajlarda kesilen kireç konkresyonlu siltli kil ve marndan oluşan birim Abduş Gölü üyesidir. Abduş Gölü üyesi sarımsı boz, beyaz benekli, az kumlu siltli ve kireçli kil yaygın ve değişen oranda kireç konkresyonlu, gözenekli ve düşük plastisitelidir. Abduş Gölü ve Tuzla tersanesi dolaylarında Kuşdili formasyonunun çökeldiği kıyı gölü-lagün ortamlarının kıyı bölgelerinde oluşmuştur (İBB, 2011).

Güncel Birikintiler (Qg): Tuzla ilçesi sınırları içerisinde bu birim Seki birikintisi, Alüvyon, Plaj birikintisi ve Yamaç molozu olarak ayrılarak İBB (2011) tarafından incelenmiştir.

Seki Birikintisi (Qs): Anadolu yakasında, örneğin, İstanbul Park Oto Yarış Pistinin batısında Ömerli baraj gölüne dökülen akarsu vadisinin yatağından 4-5m yüksekte seki düzlükleri izlenir. Bu sekiler yarı sıkışmış, boylanmamış kum, çakıl, mil, kil karışımı ince alüviyal gereç kapsar (İBB, 2011).

Alüvyon (Qal): Tuzla ilçesinde Marmara'ya dökülen akarsu vadilerinin tabanında genellikle dar şeritler halinde kum, mil ve boyu çoğunlukla 10cm'yi geçmeyen çakıllı gereçten oluşan alüvyon birikintileri gelişmiştir. Alüvyon birikintileri genellikle yuvarlanmış-yarı yuvarlanmış, zayıf-orta boylanmış, çoğunlukla kuvarsit, kumtaşı, kireçtaşı ve volkanit türü gereçten oluşur. Marmara Denizine açılan akarsu vadilerinin akışaşağı kesimlerinde, buzul sonrası deniz düzeyinin yükselmesine bağlı olarak, boğulma ve dolayısıyla düşük enerjili akış nedeniyle, vadi içlerine doğru ilerleyen kum-mil boyu ince gereçli alüvyon birikintileri gelişmiştir (İBB, 2011).

Plaj Birikintisi (Qpl): Marmara Denizine açılan bazı akarsuların ağzında küçük plaj birikintileri gelişmiştir. Taban kotları deniz düzeyinin 5-6m altına inebilen bu tür birikintiler genellikle denize uzanan doğal sırtların kenarında yer alan, dolayısıyla kıyı akıntısı ve dalgalardan korunabilen koylarda gelişmiştir (Moda, Caddebostan plajları gibi). Yıkanmış ve boylanmış, kaba kum ve yuvarlanmış ufak çakıl yoğunluktadır. İnce plaj şeritlerinin bir bölümü yol genişletme çalışmalarıyla ilişkili olarak yapay dolgu altında kalmıştır. Karadeniz kıyısı boyunca genellikle dar şeritler halinde uzanan kaba

kum ve çakıllı plaj birikintilerinin dışında denize açılan büyük akarsuların ağzında görelî olarak daha geniş plaj birikintileri gelişmiştir (İBB, 2011).

Yamaç Molozu (Qy): Bölgenin kuvarsit vb. dayanımlı kayaların oluşturduğu yüksek yamaç eğimli dağ ve tepelerin eteklerinde yer yer kalın yamaç molozu birikintileri gelişmiştir. Tuzla ilçesine yakın olan Aydos dağı ve tepelerinin yamaç ve eteklerinde yer yer 30–40m’ye varan kalınlıkta yamaç molozu yaygındır. Kum, çakıl, kocataş (blok) boyu köşeli-yarı köşeli, kötü boylanmış gereç ve sarımsı kahverengi- kırmızı killi milli hamur kapsar (İBB, 2011).

Yüzlek Birikintisi (Qyb): Varlık nedeni tanımlanamamış olan yüzeysel doğal - yapay malzeme birikintileridir (İBB, 2011).

2.2.3. MAGMATİZMA ÜRÜNÜ

Sancaktepe Graniti (Ps): Akfırat, Tepeören, Şekerpınar ve Çayırova köyleri arasında yaklaşık 100km² genişliğinde bir alan kaplayan granitler Yılmaz (1977) tarafından “Sancaktepe Graniti” adıyla incelenmiştir. Sancaktepe Graniti pembe, kirli beyaz, iri kristalli, kuvars, feldspat, biyotit ve opak mineral kapsar. Kaolinleşmiş beyaz lekecikler halinde görülen plajiyoklaslar ve pembe renkli ortoklas kristalleri granitlere benekli görünüm kazandırır. Granitler ileri derecede ayrışma sonucu arenaya dönüşmüştür. Genellikle kırıklı, çatlaklıdır, sıkça aplit damarlarıyla kesilmiştir. Ayrıca alınan granit örnekleri, mikroskopta kuvars, plajiyoklas ve K-feldispatdan oluşan, homojen, eştane boylu (tane büyüklüğü 0.5-1.0mm arası), tam kristalli dokulu lökokratik bir granit olarak tanımlanmıştır. Sancaktepe Graniti proje alanında yalnızca Kocatöngel ve Kurtköy formasyonlarını kesmiştir; diğer formasyonlarla ilişkisi bilinmemektedir. Dokanak zonu boyunca yan kayalardaki, renk ve doku değişimi sahada izlenebilmektedir. Arkozlar granit dokanağına yakın kesimlerinde, tipik mor renklerini yitirmiş sıkı dokulu, kahverengi-külrengi görünüm kazanmıştır. Proje alanının doğu kesiminde Sancaktepe Graniti’nin yaygın olduğu alanda bazı sondajlarda gabro türü magmatitler kesilmiştir. Sancaktepe Granitinin yaygınlığı Tuzla ilçesinin jeoloji haritasında İBB (2011) tarafından sunulmuştur (Şekil 2.1).

3. TANIMLAMALAR VE YÖNTEM

Bu başlık altında radyoaktivite çalışmalarında sıklıkla karşılaşılan tanımlamalara ve ölçümlerin yapıldığı Jeofizik yönetime değinilmiştir.

3.1. TANIMLAMALAR

Doğal Radyoaktivite: Yeryüzünde varolan kaya ve topraktaki radyoaktif elementin bozunması esnasında kendiliğinden ışımlar yaparak başka elementlere dönüşmesi olayına doğal radyoaktivite denir. Ayrıca yeryüzü kaynaklı radyasyon olarak ifade edilir. Doğal radyoaktivite dünya oluşurken kayalarda yeralan radyoaktif elementlerden ileri gelmektedir. En önemli kaynaklar K, U ve Th ile bunların dönüşüm ürünleridir. Örneğin dünya oluşumunda kayalarda varolan U^{238} art arda parçalanması sonucunda kararlı kurşuna (Pb^{206}), U^{235} 'in parçalanması sonucunda Pb^{207} ve Th^{232} 'nin parçalanması sonucunda Pb^{208} dönüşerek biter.

Gamma Radyasyonu: Radyoaktif elemenlerin çekirdeğinin uyarılmış bir halden, daha az uyarılmış veya kararlı hale getiren bir foton yayılımı olarak ifade edilir. Foton ışık hızında ilerleyerek kuvvetli bir biçimde nüfuz eder ve durdurulması çok güçtür. Meydana gelen bu radyasyon yüksek enerjili ve yüksek frekanslıdır.

İyonlaştırıcı Radyasyon: Yüksek enerjili ışınlar herhangi bir maddeye girdiğinde o maddenin yapısında varolan çekirdeğine iyon çiftleri oluşturarak enerji aktarır ve aktarılan bu enerji miktarına radyasyon dozu ve bu yüksek enerjili ışınlarada iyonlaştırıcı radyasyon denir.

Aktivite: Birim zamanda oluşan doğal nükleer dönüşümün ortalama sayısıdır. $1Bq=1$ saniyedeki parçalanma ya da bozunma sayısı olarak ifade edilir. Başka bir ifade ile bozunma hızına aktivite denir.

Konsantrasyon Aktivitesi (C_A): Bir metreküpteki becquerel'dir, Bq/m^3 . Birim hacimde birim zamanda dönüşen atom sayısıdır.

Soğurulmuş Doz: Havadaki ortalama soğurulmuş doz oranıdır ve yeryüzünden alınan radyasyonun miktarını belirlemek için kullanılır ve nGy/h olarak ifade edilir. Başka bir ifade ile bir maddenin 1 kg başına 1 joule enerji soğurması esnasında oluşan radyasyon miktarı ve birimi Gray (Gy) olarak ifade edilir.

Doz oranı: Işınlanmış malzemenin birim kütlesindeki radyasyonla aktarılan enerji olarak tanımlanır.

Eşdeğer Doz: Soğurulmuş doza bağlı olarak değişir ve vücudun doku ve organlarının radyasyona duyarlılığının bir ölçüsüdür ve birimi Sievert (Sv)'dır.

Etkin Doz: Vücudumuzdaki organ ve dokuların gama ışınından kaynaklı radyasyona duyarlılıkları farklıdır. Bu yüzden bir organ ya da dokunun radyasyona maruz kalması sonucunda meydana gelen hasarı ifade eder. Etkin doz, eşdeğer dozların katlarının bir toplamıdır. Etkin doz mSv ile ifade edilir ve genellikle yıllık olarak ilan edilir (AEDR yıllık etkin doz oranı).

Eşdeğer Radyum (R_{eq}): Herhangi bir yapı malzemesinden kaynaklı olarak meydana gelen radyasyon sonucunda vücutta oluşturacak radyasyon dozuna sınırlama getirmek için ifade edilen bir parametredir. Sınır değer 370Bq/kg kabul edilmiş ve bu değer in altındaki yapı malzemeleri kullanımı serbest bırakılır.

Gama İndeksi (I_{gama}): Yapı malzemelerinden kaynaklanan yıllık etkin doz için önerilen Aktivite Konsantrasyon İndisidir.

Dış Tehlike İndeksi ($H_{dış}$): Dış ortamdan kaynaklı radyasyon tehlikesini yansıtan ve yaygın olarak kullanılan bir tehlike indeksidir.

İç Tehlike İndeksi ($H_{iç}$): Yapı içerisinde hem yapı malzemesinden hem de radondan kaynaklı tehlikeyi yansıtan bir iç tehlike indeksidir.

Aktivite Kullanım İndeks (AUI): Gübrelerde ve gübrelenmiş topraklarda bulunan çeşitli radyonüklidlerin farklı kombinasyonlarından havadaki doz oranlarını tahmin etmek için kullanılan bir indekstir.

Radon Gazı: Yaşadığımız ortamdaki jeolojik birimlerde (kaya ve toprak) dünyanın oluşumu sırasında yeralan uranyum elementinin bozulması sonucunda açığa çıkan kokusuz, renksiz ve tatsız olan radyoaktif bir gazdır. Bu gaz yapıların oturduğu zeminlerdeki çatlaklardan sızarak yapı-zemin bağlantı noktalarından ve yapı tesisatlarından binalara sızmaktadır. Dolayısıyla radonun olduğu zeminler üzerinde mevcut yapılarda yaşayan insanlar, kapalı ortamda uzun süreli radona maruz kalması durumunda akciğer kanseri olma olasılığının arttığını bildiren birçok araştırma vardır.

3.2. GAMA-IŞIN SPEKTROMETRE YÖNTEMİ

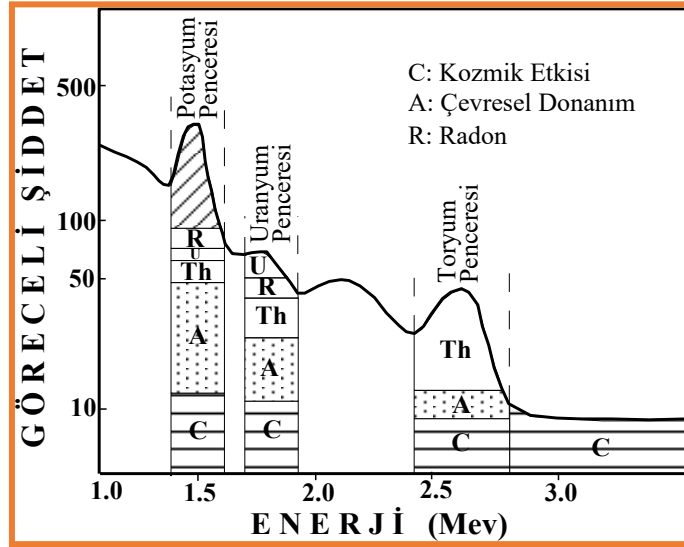
Jeofizikte gama ışını spektrometri araştırmaları pek çok şekilde yapılabilmektedir. Spektrometreler uçaklara veya motorlu taşıtlara yerleştirilebilir. Yüzeydeki ölçümler için taşınabilir olanları kullanılmakta, kuyu içi ölçümleri ve deniz tabanı araştırmaları için tasarlanmış farklı modelleri bulunmaktadır. Laboratuvar spektrometreleri duyarlı bir biçimde kayaç ve toprak örnekleri için kullanılmaktadır. Normal koşullarda yeryüzünün herhangi bir noktasındaki gama radyasyonu, her tür kaynaktan salgılanan radyasyonun toplamıdır. Bir cismin veya bir yerin radyasyonunu tam olarak bilebilmek için o cisim veya yerin çevresindeki kaynaklardan gelen radyasyonun da ölçülmesi veya hesaplanması gerekmektedir (Uyanık, 2009).

Bir gama ışın spektrometrisi etüdünde, spektrometrenin her penceresinde ölçülen değer, yani gama ışıması sayısı, yerden ve yer dışı kaynaklardan gelen gama ışımasının toplamıdır. Yer dışı (Background=eşikdeğer) radyasyon kaynaklarını ise kozmik ışınlar, spektrometrenin kabı ve aksesuarı, spektrometreyi taşıyan araç veya uçağın yapıldığı malzemenin bileşimindeki radyoelementler ve hatta insan vücudu oluşturmaktadır. Spektrometrenin algılayıcısına gelen gama ışını sayısı, radyasyonu ölçülecek cisim veya yer ile spektrometre arasındaki uzaklıkla ilişkilidir. Yani yerden veya havadan etütlerde spektrometrenin yere olan uzaklığı veya uçuş yüksekliği önemli bir faktördür (Aydın, 2004).

Spektrometrik ölçümleri etkileyen bir diğer faktör compton olayıdır. Yüksek enerjili gama ışınlarının düşük enerjili pencerelerde kendilerini göstermeleri yüzünden, düşük enerjili gama ışını pencerelerindeki ışıma sayısına bir de compton olayı nedenli ışımlar eklenmektedir. Bu ek ışıma sayısının belirlenip gerçekte ait olmadığı penceredeki ışıma sayısından çıkartılması gerekmektedir. Bu işlem için özel olarak hazırlanmış kalibrasyon blokları (pad) kullanılmaktadır. Potasyum, uranyum ve toryum konsantrasyon oranları bilinen söz konusu bloklar üzerinde alınan ölçümler ve yapılan hesaplamalarla, compton olayı nedenli ışıma sayısını belirleyebilmek için gerekli katsayılar hesap edilebilmektedir (Uyanık, 2009).

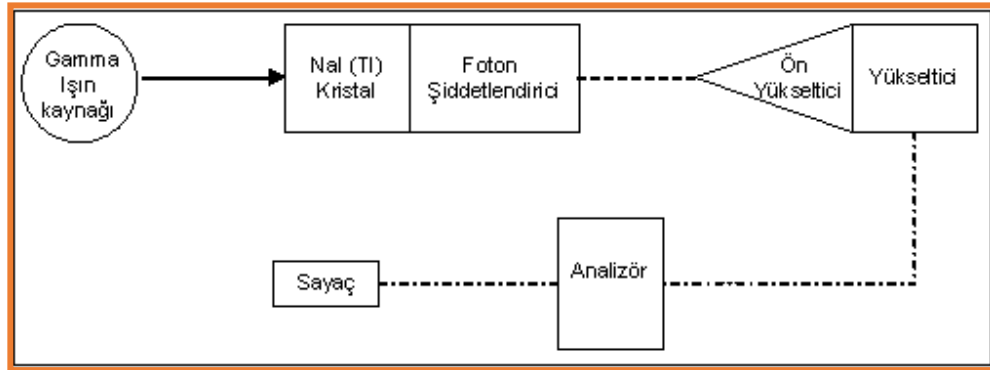
Bir spektrometrik ölçüm veya etütte amaç, ölçümü yapılan cisim veya sahanın içerdiği radyoaktif element cins ve miktarını belirlemektir. Bunun için, her bir pencerede ölçülen ışıma sayısından, yerdışı etkenlerin neden olduğu ışıma sayısının çıkartılması ve kalan net ışıma sayılarının ise radyoaktif element miktarı cinsinden ifade edilmesi

gerekmektedir. Şekil 3.1 yerden ve yerdışı kaynaklardan salgılanan gama ışınlarının her bir penceredeki etkisini göstermektedir (Uyanık, 2009).



Şekil 3.1. Yer ve yer dışı kaynaklardan gelen gama ışını salıncığının spektrometre pencerelerindeki etkileri (Aydın, 2004)

Spektrometre, sintilometrenin elektronik olarak daha gelişmiş bir şekli olup, kaynağın tespiti için K^{40} , U^{238} ve Th^{232} ’dan gelen karakteristik gama ışınlarını enerjilerine göre ayırt ederek sayabilmektedir (Şekil 3.2).

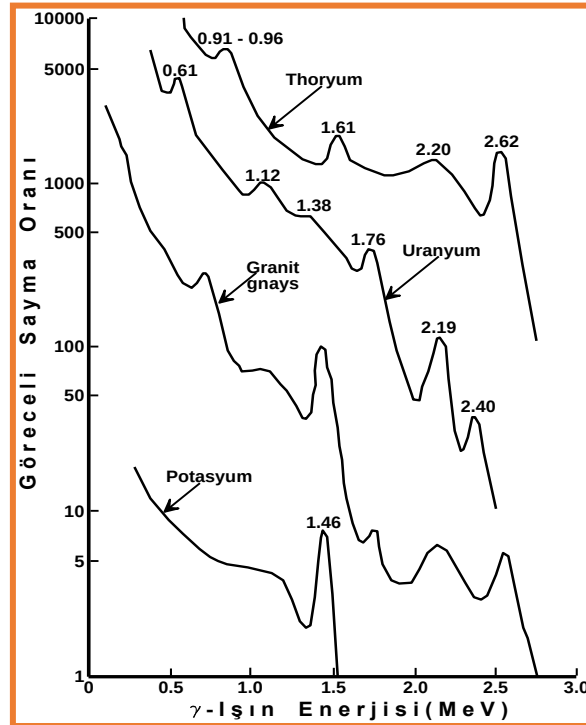


Şekil 3.2. Gama-Işın spektrometresinin şematik diyagramı (Bopp, 1997)

Sinyal-yükselten çözümleyici veya sinyalleri şiddetlerine göre sıralayıcı olarak bilinen spektrometreler, 1950’li yıllardan beri nükleer fizik laboratuvarlarında gama-ışınlarını analiz etmek için kullanılmaktadırlar. Spektrometreler, düşük sinyal yoğunluğundan faydalanırlar ve sinyal yükselticiden dolayı sinyal genliği, asıl gama-ışını enerjisiyle orantılı olmaktadır. Gama ışını, elektron çifti olayı ve/veya saçılma (compton) nedeniyle ilk enerjisini kaybetse bile aynı genlikli sinyaller toplanacak, en sonunda düşük enerjili fotoelektronlardan elde edilen gama ışını kristalden kaçamayıp, tamamen emilecektir. Tüm bu süreç temelde aynı zamanda meydana gelir. Çünkü elektromanyetik radyasyon olan gama-ışınları ışık hızıyla hareket ederler. Gama ışınlarını dönüştürmede %100

verimlilik elde etmek için, radyoaktif kaynağı kristal içine dakika mertebesinde yerleştirilmesi gerekmekte ve bu işlem laboratuvar ortamlarında yapılmaktadır. Bu koşullarda (kristalin yeteri kadar büyük olması durumunda) bütün gama-ışınları kristalde soğrulmakta ve kaynağın orijinal gama ışını spektrumu analizörde bir sinyal-voltaj spektrumu olarak, orijinaline uygun bir şekilde çoğaltılabilmektedir.

U^{238} ve Th^{232} serileri, Şekil 3.3’de gösterildiği gibi, geniş bir enerji aralığında, kompleks bir sinyal spektrumu ile sonuçlanan çok sayıda gama ışını yayarlar. Dört eğrinin hepsinin de karakteristik pikleri ve ayrıca compton olayından dolayı giderek artan bir enerji kaybı vardır. Saf potasyum numunesinin örnek eğrisine göre sadece K^{40} , 1.46MeV’de pik üretmektedir. Toryum, Tl^{208} ’in 2.62MeV’lik pikinde karakterize edilir. Uranyum spektrumu, 1.76 MeV’lik pikle orta derecede ayırt edici olmasına rağmen daha karmaşıktır. Granit-gnays’da, potasyum ve toryum açıkça belirgindir. Uranyum biraz daha az belirgindir. Bir gamma-ışın spektrometresi K^{40} , U^{238} ve Th^{232} piklerinden 1.46, 1,76 ve 2,62MeV’lik pikleri izole edebilme yeteneğine sahip olmalıdır. Bahsedilen gama ışını enerjilerine karşılık gelen uygun yüksek sinyalleri seçmek için, sintilometredeki üç elektronik devre ile integratör sayaç devresi değiştirilerek başarılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.3. Granit-Gnays ve U, K, Th örneklerinin gama-ışın spektrumu (Uyanık, 2011)



Şekil 3.4. Gama-ışın spektrometre cihazı

Gama-ışın spektrometrisinde amaç yerden yayınan radyasyonu belirlemektir. Spektrometrenin her penceresinde sayılan gama ışınları yerden ve yer dışı kaynaklardan gelen gama ışımlarının toplamıdır. Yer dışı radyasyon, kozmik ışınlar ile çevresel donanımdan ileri gelen yapay kaynaklı ışınlardan meydana gelmektedir. Bir de kaynaktan çıkan bazı gama-ışınları compton olayı nedeniyle enerjilerini kaybederek daha düşük enerjili kanallarda sayılmaktadırlar. Bu durumda kanallardaki net ışıma sayısının belirlenmesi için istenmeyen tüm bu etkilerin giderilmesi gerekmektedir. Bu da spektrometrenin kalibrasyonu sırasında özel ortamlarda yapılan ölçüm ve hesaplamalarla yapılmaktadır.

Spektrometrelerin kalibrasyonunda amaç kanallardaki net ışıma sayısının belirlenmesi ve bu ışıma sayılarının konsantrasyonlara dönüştürülmesidir. Kayaç veya toprak içerisindeki potasyum, uranyum ve toryum konsantrasyonları [Eşitlik 3.1](#) ile elde edilir.

$$C_w = N_w \cdot S_w \quad (3.1)$$

Burada;

C_w , W (K, U, Th) elementi konsantrasyonu,

N_w , W (K, U, Th) elementine ait kanaldaki net ışıma sayısı,

S_w , spektrometrenin W (K, U, Th) elementine ait kanalın duyarlılığını ifade etmektedir.

4. RADYOLOJİK RİSK ve YAŞAM BOYU KANSER ETKİSİ

Yaşadığımız ortamdaki yüzeyleyen jeolojik birimlerden doğal olarak az çok yayılan gama ışınlarının yüksek doz potansiyelinin farkına varılmaya başlanılmıştır. Başlıca kaynaklar, yerden ve inşaat malzemelerinden gelen gama ışınları, yutulan radyoaktiviteden kaynaklanan iç radyasyon ve radon bozunma ürünlerinden gelen akciğer dozlarıdır. Astronotlar hariç kozmik ışınlardan gelen dozlar asla aynı yüksekliğe ulaşmamaktadır. Radyolojik risk çalışmaları için elde edilen radyoaktif elementlerin konsantrasyon değerleri, [UNSCEAR \(2000\)](#) tarafından verilen dünya ortalama değerlerine göre yorumlanır. Ayrıca bu radyoaktif elementlerin konsantrasyon değerleri kullanılarak radyolojik risk parametreleri hesaplanmaktadır. Radyolojik risk parametreleri Absorbe Edilen Gama Doz Hızı (D), Yıllık Etkin Doz Hızı (AEDR), Radium Eşdeğeri Aktivite (R_{eq}), Dış ve İç Radyasyon Tehlikeleri ($H_{dış}$ ve $H_{iç}$) ve yaşam boyu kanser riski ($ELCR_{dış}$ ve $ELCR_{iç}$) olarak bilinir. Bu proje kapsamında, doğal radyoaktif elementlerin konsantrasyon değerlerinden radyolojik risk parametrelerini ve sonuç olarak jeolojik birimlerden kaynaklı yaşam boyu kanser etkisini belirlemektedir. Bu amaçla radyolojik risk parametreleri ve kanser etkisinin denklemleri aşağıda verilmiştir. Radyoaktif elementlerin (K^{40} , Th^{232} , U^{238}) Bq/kg cinsinden aktivite konsantrasyon değerleri [Eşitlik 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6](#)'da verilen radyolojik risk parametrelerinin hesaplanmasında kullanılır ([UNSCEAR 2000](#)). Radyoaktif elementler için elde edilen değerler, [Eşitlik 4.1](#)'de gösterildiği gibi gama doz oranını (D) hesaplamak için kullanılmıştır. Radyoaktif elementlerin yoğun bulunduğu jeolojik birimler üzerinde ya da yakın civarında ikamet eden canlılar tarafından havada soğurulma hızı, nGy/h birimi olarak [Eşitlik 4.1a](#)'dan elde edilir. Ayrıca radyoaktif elementlerin yoğun bulunduğu jeolojik birimler kullanılarak yapılan yapı malzemelerinden kaynaklı radyonüklidlerin iç ortam havasında soğurulan doz oranına (D_{in} , nGy/h) katkısı, U^{238} , Th^{232} ve K^{40} aktivite konsantrasyonları ile [Eşitlik 4.1b](#) kullanılarak belirlenmiştir.

$$D_{dış} \left(\frac{nGy}{h} \right) = 0.462C_U + 0.621C_{Th} + 0.0417C_K \quad (4.1a)$$

$$D_{iç} \left(\frac{nGy}{h} \right) = 0.908C_U + 1.06C_{Th} + 0.0767C_K \quad (4.1b)$$

Burada C_U , C_{Th} ve C_K sırasıyla Bq/kg cinsinden U^{238} , Th^{232} ve K^{40} ortalama aktivite konsantrasyonlarıdır. Absorbe edilen gama doz oranı değerleri, jeolojik birimlerde radyoaktif elementlerin bulunması nedeniyle bir bölgeden diğerine değişir. Dünya ortalamasına göre soğurulan gama doz oranı yaklaşık 59nGy/h'dir ([UNSCEAR 2000](#)).

Buna göre Tablo 4.1 de gama doz oranına göre risk derecesi UNSCEAR (2000) tarafından tanımlanmıştır.

Tablo 4.1. Radyolojik tehlike riskinin derecesi (UNSCEAR 2000)

Gama doz oranı D (nGy/h)	Risk Derecesi
$D < 60$	Çok düşük
$60 < D < 120$	Düşük-Orta
$D > 120$	Yüksek

Yıllık etkin doz oranı (AEDR), Eşitlik 4.2'de gösterildiği gibi, 0.7Sv/Gy'lik gama radyasyonunun soğrulan doz hızını yıllık etkin doz hızına dönüştürmek için kullanılan doz dönüştürme faktörüdür. Ayrıca bir kişinin 365 gün boyunca gama ışınlarına maruz kaldığı sürenin %20'sini (8760h/y) ev ve çevresi dışında geçirdiği varsayılarak 0.2'lik bir dış mekan doluluk faktörü (UNSCEAR 2000) uygulanarak emilen dozdan hesaplanır (Çevik vd. 2007; Turhan vd. 2008).

$$AEDR_{dış} \left(\frac{mSv}{y} \right) = D_{dış} \left(\frac{nGy}{h} \right) 8760 \left(\frac{h}{y} \right) 0.2 \cdot 0.7 \left(\frac{Sv}{Gy} \right) 10^{-6} \quad (4.2a)$$

$$AEDR_{iç} \left(\frac{mSv}{y} \right) = D_{iç} \left(\frac{nGy}{h} \right) 8760 \left(\frac{h}{y} \right) 0.8 \cdot 0.7 \left(\frac{Sv}{Gy} \right) 10^{-6} \quad (4.2b)$$

Dünya ortalama yıllık etkin doz oranı 0.07mSv/y'dır (UNSCEAR 2000). Radyoaktif elementler, kayalarda veya topraklarda farklı yoğunluklarda bulunduğu bilinmektedir. Bu nedenle, kaya ya da topraklardan kaynaklı hesaplanan radyolojik risk parametreleri de değişmektedir.

Yapılaşma amaçlı kullanılan yapı malzemeleri çoğunlukla doğadaki kaya ya da topraklardan elde edilmektedir. Dolayısıyla bu yapı malzemelerinde de doğal radyoaktif elementler düzgün dağılımlı olmadıkları için radyoaktif elementlerden kaynaklanan radyolojik tehlikeleri hesaba katmak ve U^{238} , Th^{232} ve K^{40} 'ın aktivite konsantrasyon seviyesini temsil etmek amacıyla türetilen radyum eşdeğer aktivite indisi (Ra_{eq}), aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Ra_{eq} = C_U + \left(\frac{1}{0.7} \right) C_{Th} + \left(\frac{1}{13} \right) C_K \quad (4.3)$$

Burada, C_U , C_{Th} ve C_K ; yapı malzemelerindeki U^{238} , Th^{232} ve K^{40} 'ın Bq/kg cinsinden aktivite konsantrasyon değerleridir. Dünya çapında ortalama radyum eşdeğer aktivite indisi 109Bq/kg'dır (UNSCEAR 2000). Bununla birlikte OECD (1979) tarafından yayınlanan raporda yapılaşma için kullanılan yapı malzemelerinde radyum eşdeğer aktivite indisi için üst sınır değeri 370Bq/kg olarak belirlenmiştir. Bu üst sınır değeri

üzerindeki yapı malzemeleri yapılaşmada kullanımına izin verilmemektedir. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansının halkın kapalı ortamlardaki radondan ve diğer doğal radyasyonlardan korunmasına ilişkin yapı malzemelerinden kaynaklanan yıllık etkin doz için referans değer 1mSv olarak belirlenmiştir. Bu doza karşılık gelen aktivite konsantrasyon indisi (I) aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$I = \left(\frac{1}{300}\right)C_U + \left(\frac{1}{200}\right)C_{Th} + \left(\frac{1}{3000}\right)C_K \quad (4.4)$$

C_U , C_{Th} , C_K ; birimi Bq/kg olmak üzere sırasıyla Uranyum, Toryum ve Potasyum aktivite konsantrasyonlarıdır. Bu aktivite konsantrasyon indisi malzemenin yoğunluğuna ve kullanım şekline bağlı olarak sınırlandırmalar EC (1999) tarafından izleyen tabloda verilmiştir. Yapı içerisinde ya da dışında kullanılan yapı malzemelerinin aktivite konsantrasyon indisi değeri Tablo 4.2’de verilen değerlerden büyük olması durumunda kullanılmaması önerilmektedir.

Tablo 4.2. Yapı malzemeleri için önerilen Aktivite Konsantrasyon İndisi (I)

Yapı malzemesi	I
Yapıda çok kullanılan beton, tuğla gibi yapısal malzemeler	≤ 1
Yapıda az kullanılan kiremit, seramik, kaplama malzemeleri gibi	≤ 6

Doğal radyoaktif elementlerden kaynaklı gama radyasyonunun sunduğu riskleri değerlendirmek için tanımlanan dış radyasyon tehlike indeksi kullanılmaktadır. Dış radyasyon tehlikesi ($H_{dış}$) Eşitlik 4.5a’ya ve iç radyasyon tehlikesi Eşitlik 4.5b’ye göre hesaplanmıştır (OECD 1979; Krieger 1981; Beretka ve Mathew 1985; Lu 2004).

$$H_{dış} = \left(\frac{1}{370}\right)C_U + \left(\frac{1}{259}\right)C_{Th} + \left(\frac{1}{4810}\right)C_K \leq 1 \quad (4.5a)$$

$$H_{iç} = \left(\frac{1}{185}\right)C_U + \left(\frac{1}{259}\right)C_{Th} + \left(\frac{1}{4810}\right)C_K \leq 1 \quad (4.5b)$$

Burada; C_U , C_{Th} , C_K ; birimi Bq/kg olmak üzere sırasıyla Uranyum, Toryum ve Potasyum aktivite konsantrasyonlarıdır. Dış ya da iç radyasyon tehlike indeksinin radyolojik risk açısından $H_{dış} \leq 1$ ve $H_{iç} \leq 1$ olmalıdır (UNSCEAR 2000). Aksi halde yaşam alanı radyolojik tehlike altındadır. Önleyici tedbirler alınmazsa, radon ve türevleri bölge sakinlerinin ve çiftçilerin solunum organları için oldukça zararlı olabilir. Dış tehlike indeksi $H_{dış}$ ’e ek olarak, radona maruz kalma nedeniyle iç tehlike indeksi $H_{iç}$ Eşitlik 4.5b kullanılarak hesaplanır. Radyolojik risk açısından sağlığın tehlike durumunu değerlendirme çalışmalarında tarım alanları için genellikle gübrelerde ve gübrelenmiş

topraklarda bulunan çeşitli radyonüklidlerin farklı kombinasyonlarından havadaki doz oranlarını tahmin etmek için aktivite kullanım indeksi (AUI) hesaplanır.

$$AUI = \left(\frac{C_U}{50}\right) 0,462 + \left(\frac{C_{Th}}{50}\right) 0,604 + \left(\frac{C_K}{500}\right) 0,0417 \quad (4.6)$$

Doğal radyoaktif elementlerden kaynaklanan radyasyon dozlarına uzun süre maruz kalındığında insanlarda kanser gibi zararlı etkiler oluşabilmektedir. Bu nedenle yaşam boyu kanser riskinin aşılması (ELCR), kişinin yaşadığı bölgedeki kayalarda veya topraklarda bulunan doğal radyoaktif elementlerden kaynaklanan gama radyasyonuna maruz kalması olarak ifade edilebilir. ELCR değeri aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir.

$$ELCR_{dış} = AEDR_{dış} * ALD * RF \quad (4.7a)$$

$$ELCR_{iç} = AEDR_{iç} * ALD * RF \quad (4.7b)$$

Eşitlik 4.7'deki ALD, ortalama yaşam süresi olarak ifade edilir. Türkiye'de insanların ortalama yaşam süresi 79 olarak verilmektedir (TUİK 2020). RF ölümcül kanser riskidir ve RF değeri ICRP (ICRP 2007) organizasyonu tarafından $72 \cdot 10^{-6} \text{mSv}^{-1}$ olarak verilmektedir. Eşitlik 5.7'den elde edilen değer % olarak ifade edilir.

5. SAHA ÖLÇÜMLERİ

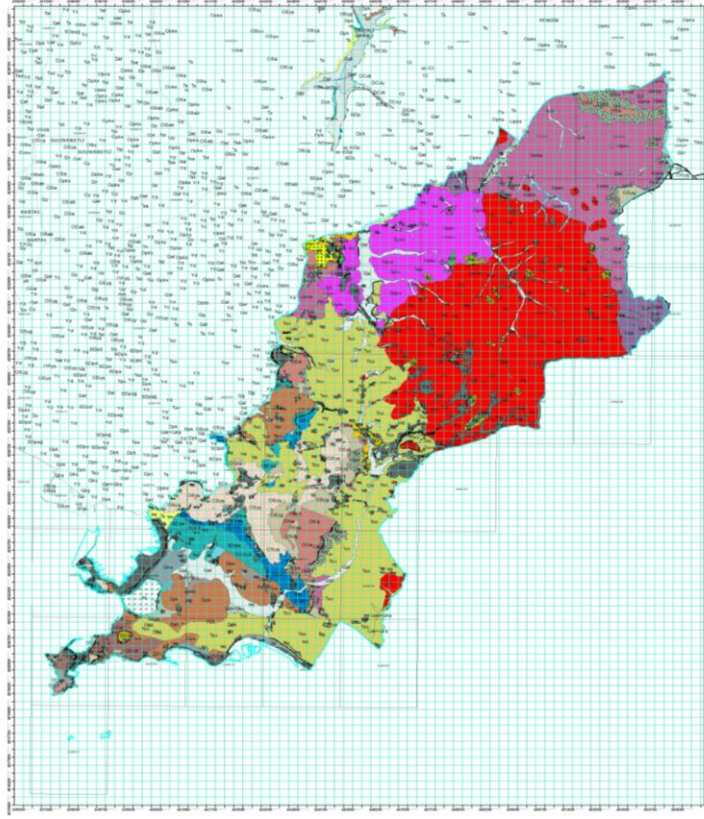
Saha çalışmaları kapsamında, danışman, yüklenici ve kontrol teşkilatı ile Tuzla ilçe sınırları içerisindeki başta volkanitler olmak üzere, diğer jeolojik birimlerin yerinde incelemeleri ve radyoaktif ölçümleri yapılmıştır.

Proje kapsamında yapılan saha çalışmalarına ait bazı fotoğraflar sunulmaktadır ([Şekil 5.1](#)). Tuzla ilçesi sınırları içerisinde (askeri ve orman alanı hariç) jeoloji haritasında özellikle volkanik kaya olan Sancaktepe granitinin yüzeylendiği alanlarda 250x250m 569 adet, diğer alanlarda 500x500m, 231 adet toplamda ise 800 adet grid oluşması öngörülmüştür ([Şekil 5.2](#)). Ancak proje hedefleri doğrultusunda radyolojik risk içeriği daha yüksek beklenen Sancaktepe granitlerinde daha küçük boyutlu gridlerde oluşturularak toplamda 1000 adet yerinde gama ışın spektrometre cihazı ile doğal radyoaktivite ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerin lokasyonları [Şekil 5.3](#) de verilmiştir.

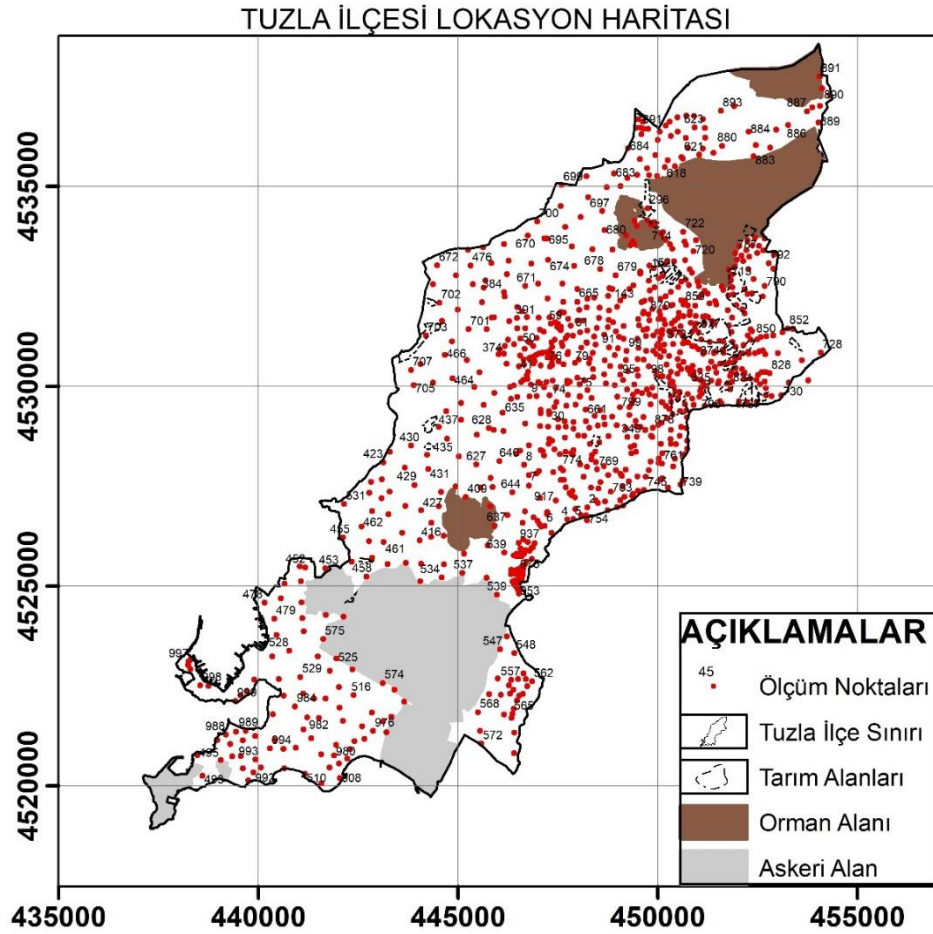
Tuzla ilçesinde jeolojik olarak birçok formasyon yüzeylemektedir. Bu formasyonlar [Tablo 5.1](#) de belirtildiği sırada Kuşdili formasyonu, Sultanbeyli formasyonu, Sancaktepe Granit, Denizliköy formasyonu, Pendik formasyonu, Pelitli formasyonu, Yayalar formasyonu, Aydos formasyonu, Kurtköy formasyonu, Kocatöngel formasyonu ve Güncel Birikintiler olarak sunulmuştur. [Tablo 5.1](#)'de bu formasyonlarda ölçülen radyoaktif elementlerin en küçük ve en büyük değerleri ile birlikte formasyonların simgeleri ve kısa açıklamaları da verilmiştir. Bu tablo irdelendiğinde en yüksek radyoaktif element değerleri magmatizmanın ürünü olan Sancaktepe granitlerinde ölçülmüştür. Bu granit pembe, kirli beyaz, iri kristalli, kuvars, feldspat, biyotit ve opak mineralleri içerir. Ayrıca bu granit aşırı ayrışma sonucu arenaya dönüşmüştür. Bu noktalarda alınan ölçümlerde potasyumun (%K) %2.77-6.21 gibi yüksek değerlerde ölçülmesi granitin potasyumca zengin olduğunun bir göstergesidir. Bu durum [İBB \(2011\)](#)'de granitten alınan numunelerin mikroskopta incelenmesi sonucunda kuvars, plajiyoklas ve K-feldispatdan oluşan bir granit olarak tanımlamışlardır. Potasyumun yüksek değerleri daha sağlam granitde elde edilirken düşük değerler granitin alterasyon yoğunluğunun olduğu alanlarda gözlenmiştir. Büyük olasılıkla alterasyon potasyumda bir miktar azalmaya neden olmuştur. Granitte ölçülen eU ve eTh değerleri de (1.3-11.7ppm ve 8.5-40.4ppm) arasında değişmektedir. Granitin arenalaşmış durumundaki K⁴⁰, U²³⁸ ve Th²³² değerleri %0.27-5.02, 0.6-11.1ppm ve 1.5-30.7ppm aralığında değişmektedir.



Şekil 5.1. Saha ölçümlerinden örnek resimler



Şekil 5.2. Çalışma alanının jeolojisi ve 250 x 250m gridlenmiş durumu



Şekil 5.3. Gama-ışın spektrometre ölçüm noktalarını gösterir lokasyon haritası

Tablo 5.1. Tuzla ilçesi jeolojik birimler üzerinde ölçülen doğal radyoaktif elementlerin jeolojik birimlere göre dağılımları (en küçük ve en büyük değerleri)

Formasyon Adı	Simge	K^{40}	U^{238}	Th^{232}	Açıklamalar
		%	ppm	ppm	
Kuşdili Formasyonu	Okş	1,17-2,61	1,7-3,8	6,0-15,7	Kara, Koyu Kül Rengi, Kavkılı, Kil-Mil-Çamur
	Okşa	1,28-1,85	2,8-4,5	6,3-8,7	Kireçli Kil-Mil
Sultanbeyli Formasyonu	Tsi	0,67-4,14	2,0-5,9	7,4-25,3	Granit Kökenli Kum, Çakılcık, Çakıl
	Tso	0,1-3,35	0,2-5,5	2,7-18,0	Kil, Mil, Kum, Kireç Konkresyonlu, Çakıllı
	Tsa	0,89-1,92	2,0-3,2	6,9-7,5	Kuvarsit blok ve Çakılları; Köşeli-Yarı Köşeli
	Tst	0,92-2,16	1,5-3,6	4,3-10,8	Kum, Mil, Kil
Sancaktepe Granit	Ps-Mostra	2,77-6,21	1,3-11,7	8,5-40,4	Ayrışmış Granit (Arena)
	Ps	0,27-5,02	0,6-11,1	1,5-30,7	Ayrışmış Granit (Arena)
Denizliköyü Formasyonu	Dcdt	1,0-1,68	1,1-3,9	3,1-10,4	Kireçtaşı, Yumrulu Kireçtaşı
	Dcda	1,08	2,6	3	Yumrulu Kireçtaşı; Şeyil Arakatkılı
Pendik Formasyonu	Dpk	0,58-2,56	1,0-4,4	4,9-11,6	Mikalı Şeyil, Miltaşı; Bol Makrofosilli
	Dpkz	1,56	2,4	9,7	Kireçtaşı, Killi Kireçtaşı; Kiltası-Şeyil Arakatkılı
Pelitli Formasyonu	Sdp	1,1	1,7	4,1	Kireçtaşı, Yumrulu Kireçtaşı; Resifal Kireçtaşı
	Sdps	1,05-2,2	1,2-2,4	7,7-12,3	Kireçtaşı; Fosilli Mikrit, Laminallı Mikrit
	Sdpd	1,14-1,97	1,8-3,9	7,5-11,3	Resifal Kireçtaşı
Yayalar Formasyonu	Osyg	0,86-1,48	2,7-4,4	5,2-7,0	Mikalı Kumtaşı, Miltaşı
	Osyş	0,3-3,27	0,7-4,4	0,8-14,6	Feldspatlı Kuvarsit
Aydos Formasyonu	Oa	0,58	1,6	6,3	Kuvarsit, Çakıltası, Kumtaşı, Miltaşı
Kurtköy Formasyonu	Opk	1,19-2,6	0,3-4,9	3,7-12,3	Arkozik Kumtaşı, Çakıltası, Laminallı Miltaşı
	Opks	1,08-2,38	0,6-3,5	2,7-12,4	Arkozik Kumtaşı-Çakıltası
	Opkb	1,27	2,5	5,4	Kumtaşı-Laminallı Miltaşı Ardışığı
Kocatöngel Formasyonu	Opkc	0,55-3,34	0,3-5,5	3,4-15,8	Varvlı Miltaşı-Kiltası; Kumtaşı Arakatkılı
Güncel Birikintiler	Qal	1,1-5,02	0,5-5,3	1,6-22,2	Kum, Çakıl, Mil, Kil
	Qal-kş	1,64-1,95	3,1-7,1	8,8-14,1	Tabanında Qkş (Kuşdili F.) Bulunan Alüvyon
	Qs	0,58-1,68	1,1-3	2,6-10,7	Kum, Çakıl, Mil
	Qym	1,56	3,7	6,5	Blok, Çakıl, Çakılcık
	Qyb	2,11	3,2	8,8	Köşeli Çakıl, Çakılcık, Kum, Kil Karışımı

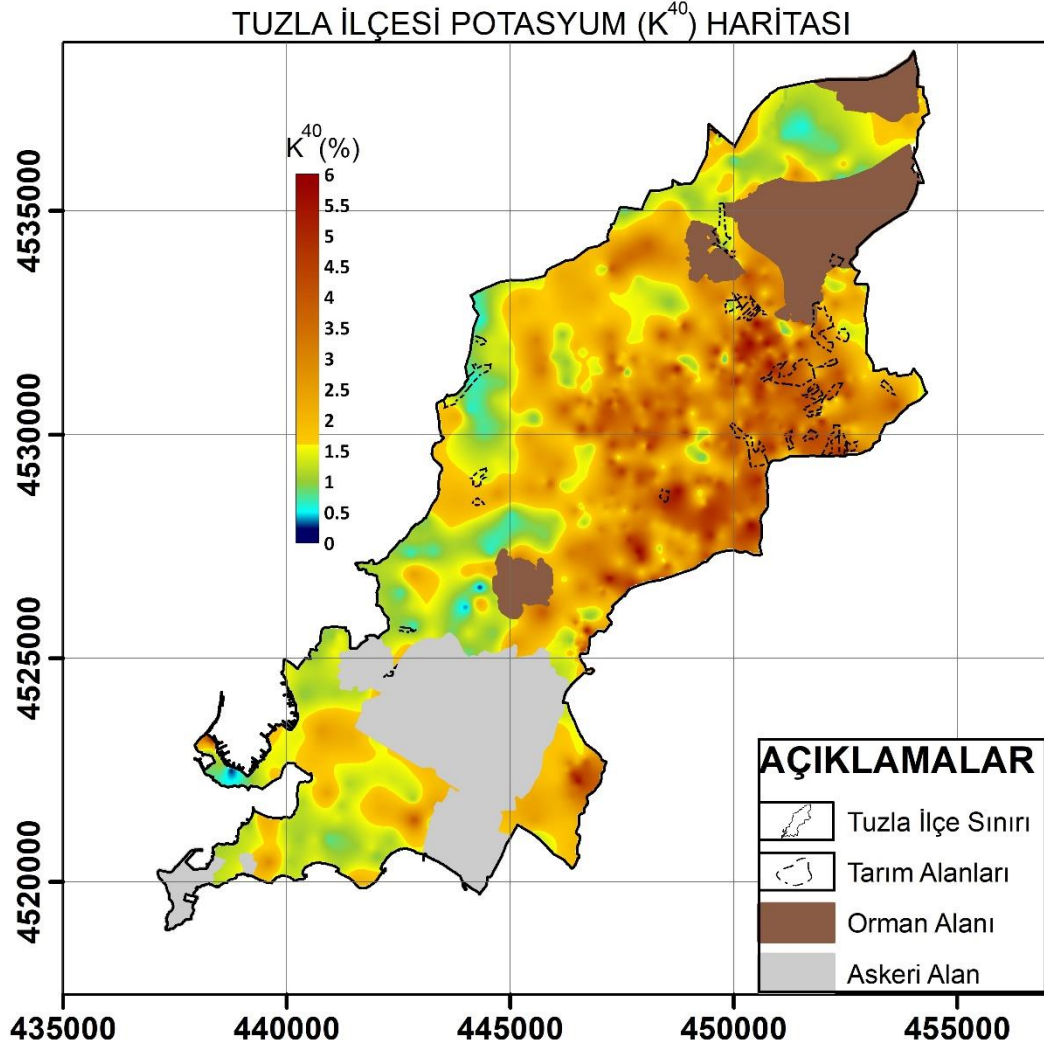
6. RADYOLOJİK RİSK DEĞERLENDİRMELERİ

Tuzla ilçesi sınırları içerisindeki jeolojik birimlerin her biri için radyoaktif elementlerin konsantrasyon (K^{40} , U^{238} ve Th^{232}) değerlerinin mikro-bölgeleme haritaları Şekil 6.1, 6.2 ve 6.3'de gösterildiği gibi çizilmiştir. Askeri (gri renk) ve Orman (kahverengi) alanlarında ölçüm alınamamıştır. Haritalarda kesikli çizgiler ile belirtilen alanlar tarım alanları olarak gösterilmiştir. Dolayısıyla tarım alanları içerisindeki toprağın radyoaktif elementlerinin değişimini izlemek mümkündür.

UNSCEAR (2000)'e göre K^{40} , U^{238} ve Th^{232} dünya ortalama değerleri yaklaşık %1.6, 4ppm ve 12.5ppm ya da aktivite konsantrasyon değerleri 500Bq/kg, 50Bq/kg ve 50Bq/kg olarak verilmektedir. Dünya ortalama değerleri sınır değer olarak kullanılmış ve haritalarda sarı renk ile sınırlandırılmıştır. Haritalardaki renk skalası incelendiğinde dünya ortalama değerlerinden daha düşük değerli alanlar mavi renk ile sarı renk arasında ve dünya ortalama değerinden daha büyük değerlerin elde edildiği alanlar sarı renk ile kırmızı renk arasında olduğu görülmektedir. Dolayısıyla hazırlanan haritalar kolaylıkla dünya ortalama değerlerinden küçük ya da büyük değerli alanlar ayırt edilebilmektedir. Tuzla ilçe sınırları içerisinde ölçülen radyoaktif elementler içinde en yüksek değerler K^{40} 'da elde edilmiş daha sonra Th^{232} ve en az konsantrasyon değerleri U^{238} 'da ölçülmüştür.

Şekil 6.1'de jeolojik birimlerden kaynaklı K^{40} haritası görülmektedir. Tuzla sınırları içerisinde K^{40} radyoelementin en yüksek ortalama konsantrasyon değerleri Sancaktepe granitlerinde ölçülmüş ve en düşük ortalama konsantrasyonlar ise farklı formasyonlardaki kireçtaşı alanlarında kaydedilmiştir. Farklı jeolojik birimler için K^{40} konsantrasyon değerleri sayısal olarak Tablo 5.1'de verilmiştir. Şekil 6.1'de kesikli çizgiler ile belirtilen tarım alanlarında K^{40} dünya ortalama değerlerinden oldukça yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Sancaktepe granitlerinin K^{40} açısından zengin olması bu alanlardaki tarım bölgelerinde kullanılan gübrelerin gelişi güzel tercih yapılmamasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Potasyumca zengin bir toprağa potasyumlu gübre atılması durumunda bitkinin tepe sürgününün yavaşlamasına neden olabilir. Dolayısıyla tarım alanlarında toprağın özelliklerine bağlı gübre ve bitki seçimi yapılması daha iyi ürünlerin elde edilmesini sağlar. Şekil 6.1'de K^{40} haritası dünya ortalaması %1.6 değerine göre irdelenir ise Tuzla ilçesi çoğunlukla dünya ortalama değerinin üzerinde değerler sunduğu görülmektedir. Bunun en önemli doğal etkeni Sancaktepe granitleridir. Sancaktepe granitleri K^{40} açısından oldukça zengin olduğu Şekil 6.1'den anlaşılmaktadır. K^{40} aktivite

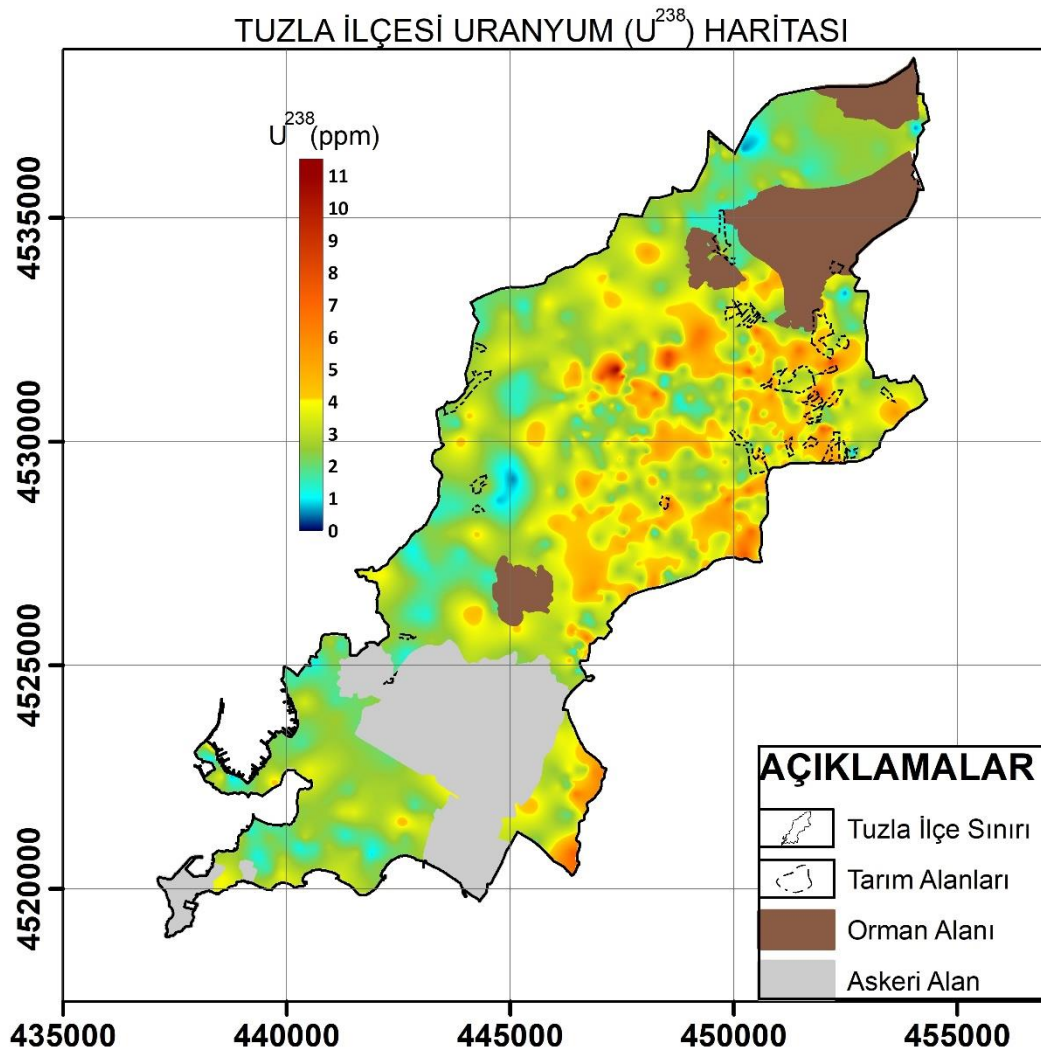
konsantrasyonunun dünya ortalama değeri 500Bq/kg dır. Şekil 6.1'deki K^{40} değeri sarı renkten kırmızı renge doğru dünya ortalama değerinden yaklaşık 3 kat daha fazladır. Dolayısıyla kırmızı renkli alanlar insan sağlığı açısından zararlı etkileri olabilecek bölgelerdir.



Şekil 6.1. Tuzla ilçesine ait jeolojik birimlerden kaynaklı K^{40} haritası

Şekil 6.2'de U^{238} haritası sunulmuştur. Tuzla ilçesi sınırları içerisinde U^{238} radyoelementin en yüksek ortalama konsantrasyon değerleri Sancaktepe granitlerinin mostra verdiği alanlarda ve dere yatakları aracılığı ile taşınıp çökelen volkanik zeminlerde ölçülmüş ve en düşük ortalama konsantrasyonlar ise farklı formasyonlardaki çakıltaşı, kumtaşı ve kireçtaşı alanlarında kaydedilmiştir. Tuzla ilçe sınırları içerisindeki farklı jeolojik birimler için U^{238} konsantrasyon değerlerinin en büyük ve en küçük değer aralıkları Tablo 5.1'de sunulmuştur. Şekil 6.2'de kesikli çizgiler ile belirtilen bazı tarım alanlarında ölçülen U^{238} değerleri, dünya ortalama değerlerinden oldukça yüksek olduğu

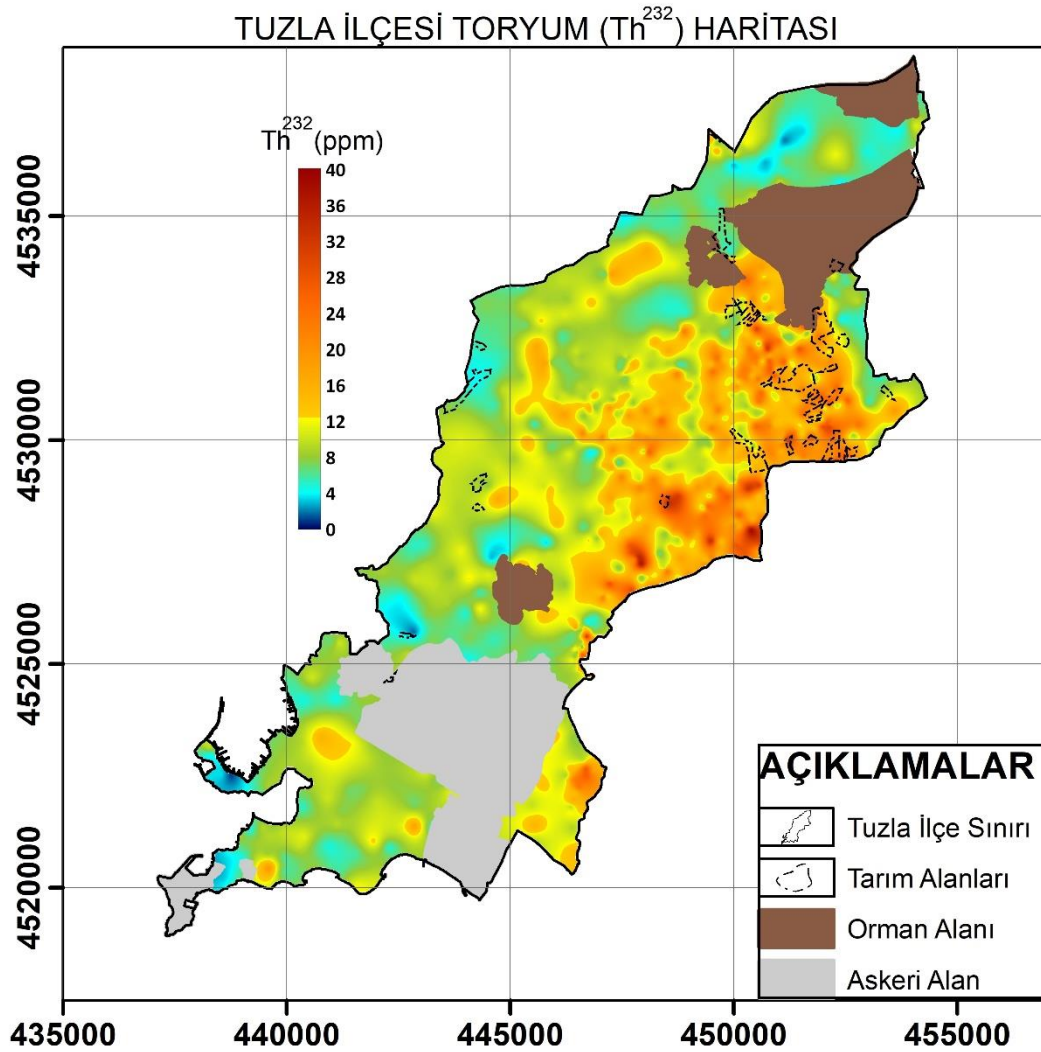
görülebilir. U^{238} ölçüm değerleri Sancaktepe granitlerinin mostra verdiği alanlarda en yüksek değerlere ulaşmıştır. Şekil 6.2’de U^{238} haritası, dünya ortalaması 4ppm değerine göre irdelenir ise Tuzla ilçesinin çoğunlukla Sancaktepe granitlerinin ve dere yatakları aracılığı ile taşınıp çökelen volkanik zeminlerin bulunduğu alanlarda dünya ortalama değerinin üzerinde değerler sunduğu görülmektedir. U^{238} aktivite konsantrasyonunun dünya ortalama değeri 50Bq/kg dır. Şekil 6.2’deki U^{238} değeri sarı renkten kırmızı renge doğru dünya ortalama değerinden yaklaşık 2.5 kat daha fazla olan alanların olduğu görülmektedir. U^{238} radyoaktif element açısından Tuzla ilçesi sınırları içerisinde Şekil 6.2’de görüleceği üzere kırmızılı alanlar insan sağlığı açısından zararlı etkileri olabilir.



Şekil 6.2. Tuzla ilçesine ait jeolojik birimlerden kaynaklı U^{238} haritası

Şekil 6.3’de Th^{232} haritası sunulmuştur. Tuzla ilçesi sınırları içerisinde Th^{232} radyoelement değeri 40ppm’e kadar ölçülmüştür. Th^{232} en yüksek ortalama konsantrasyon değerleri Sancaktepe granitlerinin mostra verdiği alanlarda ve dere

yatakları aracılığı ile taşınıp çökelen volkanik zeminlerde elde edilmiştir. En düşük ortalama konsantrasyonlar ise farklı formasyonlardaki çakıltaşı, kumtaşı ve kireçtaşı alanlarında ölçülmüştür. Tuzla ilçe sınırları içerisindeki farklı jeolojik birimlerde Th^{232} konsantrasyon değerlerinin en büyük ve en küçük değer aralıkları **Tablo 5.1**'de sunulmuştur. **Şekil 6.3**'de kesikli çizgiler ile belirtilen bazı tarım alanlarında ölçülen Th^{232} değerleri, dünya ortalama değerlerinden oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Th^{232} ölçüm değerleri Sancaktepe granitlerinin mostra verdiği alanlarda en yüksek değerlere ulaşmıştır.



Şekil 6.3. Tuzla ilçesine ait jeolojik birimlerden kaynaklı Th^{232} haritası

Şekil 6.3'de Th^{232} haritası, dünya ortalaması 12ppm değerine göre irdelenir ise Sancaktepe granitlerinin ve dere yatakları aracılığı ile taşınıp çökelen volkanik zeminlerin bulunduğu alanlarda dünya ortalama değerinin üzerinde değerler sunduğu görülmektedir. Th^{232} aktivite konsantrasyonunun dünya ortalama değeri 50Bq/kg dır. **Şekil 6.3**'deki

Th^{232} değeri sarı renkten kırmızı renge doğru dünya ortalama değerinden yaklaşık 3 kat daha fazla olan alanların olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu alanlarda insan sağlığı açısından zararlı etkileri olabilir.

Tuzla ilçe sınırları içerisinde ölçülen K^{40} , U^{232} ve Th^{232} konsantrasyon değerleri içerisinde en çok K^{40} , Th^{232} ve U^{238} sırasıyla olduğu hem Şekil 6.1, 6.2 ve 6.3'den hem de Tablo 5.1'den anlaşılabılır. Sonuç olarak Sancaktepe granitleri ve volkanik birimlerden oluşan zeminlerde ölçülen radyoelementlerin konsantrasyonları dünya ortalamalarının üzerinde bulunmuştur. Ancak diğer jeolojik birimlerde genel olarak elde edilen değerler dünya ortalama değerleri civarında ya da daha küçük değerler ölçülmüştür. Dünyada farklı ülkelerdeki alüvyon alanlarda elde edilen radyoelement aktivite konsantrasyon değerleri Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1. Farklı ülkelerde alüvyon zeminlerde elde edilen K^{40} , U^{238} ve Th^{232} aktivite konsantrasyon değerleri (Uyanık vd. 2013'den düzenlenmiştir)

Ülkeler	K^{40}	U^{238}	Th^{232}	Kaynaklar
	min-max	min-max	min-max	
	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	
Avustralya	403	63	163	Beretka ve Mathew 1985
Bangladeş	256	88	68	Mollah vd. 1986
Çin	267-1175	10-119	15-68	Pan vd.1988; Lu vd. 2008
Kıbrıs	10-200	1-16	2-11	Tzortzis vd.2004
İskenderiye-Mısır	180-344	14-19	14-24	Saleh vd.2007
Hindistan	95-1089	19-784	30-316	Narayana vd. 2001; Mehra vd.2010; War vd. 2011
İrlanda	350	60	26	McAulay ve Morgan 1988
İtalya	687	45	49	Sciocchetti vd. 1984
Ürdün	488	54	24	Ahmad vd.1998
Kenya	217-294	25-32	64-82	Mustapha vd.1999
Malezya	851	159	141	Chong ve Ahmad 1982
Nijerya	14-55	12-20	20-29	Arogunjo vd. 2004
Pakistan	310-758	17-46	24-61	Fatima vd.2008; Tahir vd.2005 Tufail vd. 1992
Suudi Arabistan	162-288	10-18	7-15	Alaamer 2008
İspanya	650	46	49	Baeza vd.1992
Sudan	280	28	20	Sam vd. 1997
ABD	--	41	36	Nazaroff ve Nero 1988
Tayvan	388	27	--	Chang vd. 1974
Kırklareli-Türkiye	200-500	20-30	20-40	Taşkın (2006)
Fırtına Vadisi-Türkiye	51-1605	16-113	17-87	Küçükömeroglu vd. 2008
Isparta-Türkiye	43-1493	26-232	12-279	Uyanık vd. 2013
Tuzla-İstanbul-Türkiye	180-1571	6-88	6-90	Bu çalışma
Dünya ortalamaları	500	50	50	UNSCEAR 2000

Çalışma alanındaki alüvyonun K^{40} aktivite konsantrasyonlarının Çin ve Hindistan hariç diğer birçok ülke için bildirilen konsantrasyonlardan yaklaşık üç kat daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ancak U^{238} ve Th^{232} diğer ülkelerde elde edilen veriler ile yaklaşık benzerdir. Bu yüksek seviye, alüvyonu oluşturan taşınan piroklastiklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. [Tablo 6.1](#)'e benzer olarak dünyada farklı ülkelerdeki granitlerde elde edilen radyoelement aktivite konsantrasyon değerleri [Tablo 6.2](#)'de verilmiştir. [Tablo 6.2](#) irdelendiğinde çalışma alanında yeralan Sancaktepe granitlerinin dünyanın bazı ülkelerinde yeralan granitler ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda özellikle K^{40} 'ın aktivite konsantrasyon değerleri dünya ortalamasından üç kat daha yüksek olduğu ve diğer dünya ülkelerinden de yüksek olduğu görülecektir. Benzer şekilde U^{238} ve Th^{232} aktivite konsantrasyon değerleri de dünya ortalamasından yüksek ve diğer ülkelerde elde edilen aktivite konsantrasyon değerleri ile yaklaşık benzer olduğu görülmektedir.

Tablo 6.2. Farklı ülkelerde granitlerde elde edilen K^{40} , U^{238} ve Th^{232} aktivite konsantrasyon değerleri

Ülkeler	Ortalama Aktivite Konsantrasyonlar			Kaynaklar
	K^{40}	U^{238}	Th^{232}	
	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	
Brazilya	1320	45	106	Anjos vd. 2011
İtalya	1063	112	107	Marocchi vd. 2011
Mısır	1082	137	82	Amin 2012
İspanya	1138	84	42	Guillen vd. 2014
Hindistan	1908	82	112	Sonkawade vd. 2008
Yemen	1743	54	127	Abd El-Mageed vd. 2011
Yunanistan	881	74	85	Papadopoulos vd. 2013
İran	1130	74	69	Asgharizadeh vd. 2011
Japonya	1004	43	72	Iwaoka vd. 2013
Sancaktepe Granitleri	867-1943	16-144	34-163	Bu çalışma
Türkiye	1234	70	83	Cetin vd. 2012
Dünya Ortalaması	500	50	50	UNSCEAR 2000

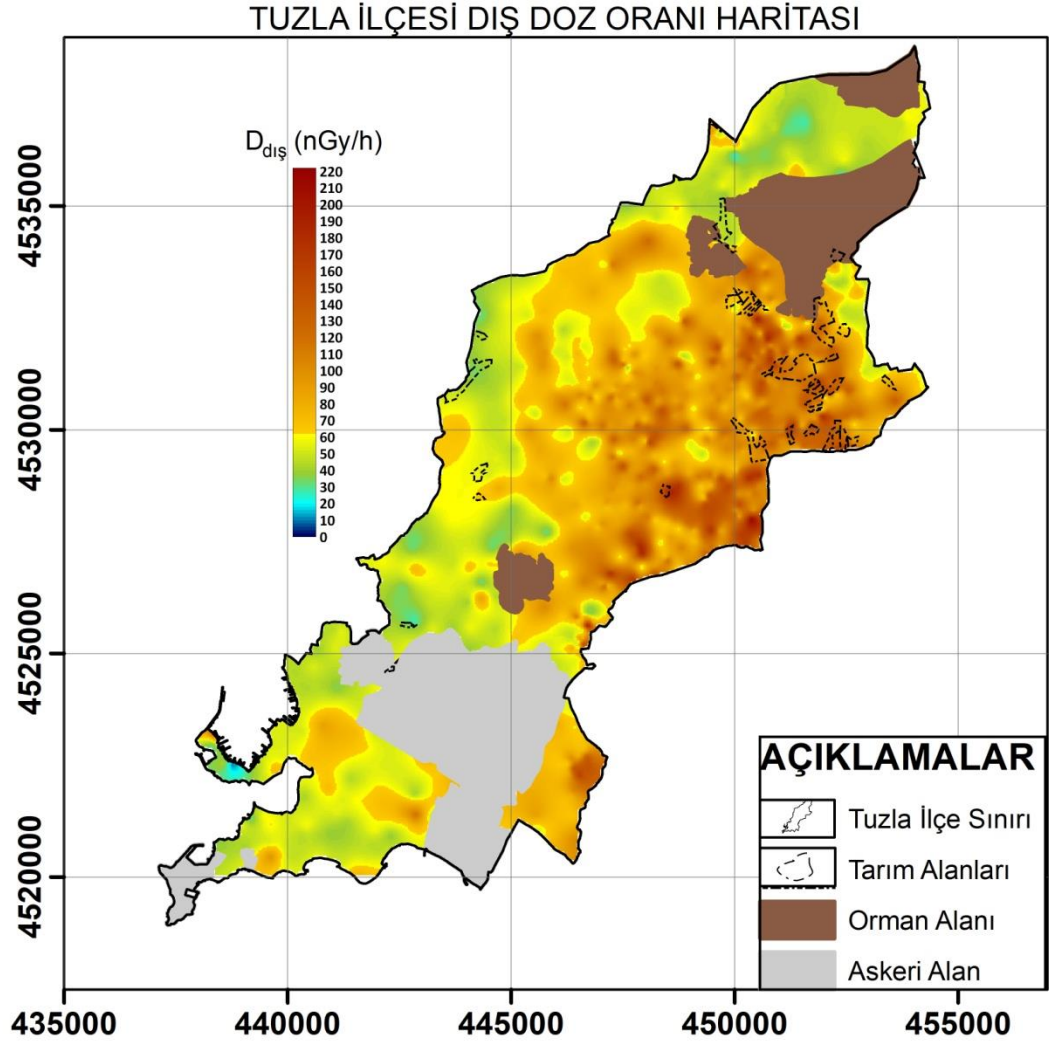
Tuzla ilçe sınırları içerisinde ölçülen K^{40} , U^{238} ve Th^{232} konsantrasyon değerlerinden aktivite konsantrasyon değerleri hesaplanmış ve [Eşitlik 4.1-4.7](#) arasındaki ilişkiler kullanılarak radyolojik risk parametreleri belirlenmiştir. Bu ölçülen ve hesaplanan parametreler [Tablo 6.3](#)'de formasyonlar içerisindeki jeolojik birimlere göre sınıflandırılarak sunulmuştur.

Tablo 6.3. Tuzla ilçesi K^{40} , U^{238} ve Th^{232} aktivite konsantrasyonları ve radyolojik risk parametreleri

Gama Işın Spektrometre												
Jeolojik Formasyonlar	Simge		Aktivite					Radyolojik Risk				
			Konsantrasyonları			D	AEDR	Ra _{eq}	H _{dış}	H _{iç}	ELCR _{dış}	ELCR _{iç}
			K ⁴⁰	U ²³⁸	Th ²³²							
			Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg							
Kuşdili Formasyonu	Okş	min	366,2	21,0	24,4	40,1	0,0492	84,0	0,23	0,28	2,8	20,4
		max	816,9	46,9	63,7	95,3	0,1169	200,8	0,54	0,67	6,7	48,2
		ort.	525,8	34,0	38,5	61,5	0,0754	129,4	0,35	0,44	4,3	31,2
	Okşa	min.	400,6	34,6	25,6	48,6	0,0596	101,9	0,28	0,37	3,4	24,9
		max.	579,1	55,6	35,3	71,8	0,0880	150,6	0,41	0,56	5,0	36,9
		ort.	469,5	41,6	32,1	58,7	0,0720	123,6	0,33	0,45	4,1	30,1
Sultanbeyli Formasyonu	Tsi	min	209,7	24,7	30,0	38,8	0,0476	83,8	0,23	0,29	2,7	19,6
		max	1048,6	67,9	73,1	120,5	0,1478	253,0	0,68	0,87	8,4	61,3
		ort.	554,6	47,2	45,6	73,3	0,0898	155,0	0,42	0,55	5,1	37,3
	Tso	min.	31,3	2,5	11,0	9,3	0,0113	20,5	0,06	0,06	0,6	4,5
		max.	1295,8	72,9	102,7	151,5	0,1858	319,3	0,86	1,06	10,6	76,6
		ort.	526,2	35,3	39,5	62,8	0,0770	132,2	0,36	0,45	4,4	31,9
	Tsa	min	278,6	24,7	28,0	40,4	0,0496	86,1	0,23	0,30	2,8	20,5
		max	601,0	39,5	30,5	62,2	0,0763	129,2	0,35	0,46	4,3	31,9
		ort.	439,8	32,1	29,2	51,3	0,0629	107,7	0,29	0,38	3,6	26,2
	Tst	min.	288,0	18,5	17,5	31,4	0,0385	65,6	0,18	0,23	2,2	16,0
		max.	676,1	44,5	43,8	76,0	0,0932	159,1	0,43	0,55	5,3	38,7
		ort.	436,0	30,5	30,6	51,3	0,0629	107,7	0,29	0,37	3,6	26,1
Sancaktepe Granit	Ps-Mostra	min	867,0	16,1	34,5	65,0	0,0797	132,0	0,36	0,40	4,5	32,8
		max	1943,7	137,1	164,0	246,2	0,3020	520,9	1,41	1,78	17,2	124,8
		ort.	1325,6	52,1	83,6	131,3	0,1610	273,5	0,74	0,88	9,2	66,3
	Ps	min.	84,5	7,4	6,1	10,7	0,0132	22,6	0,06	0,08	0,7	5,5
		max.	1571,3	144,5	124,6	209,7	0,2572	443,4	1,20	1,59	14,6	107,1
Denizliköyü Formasyonu	Dcdt	ort.	899,2	43,3	56,4	92,5	0,1135	193,0	0,52	0,64	6,5	46,9
		min	313,0	13,6	12,6	27,1	0,0333	55,6	0,15	0,19	1,9	13,9
		max	525,8	48,2	42,2	70,4	0,0863	148,9	0,40	0,53	4,9	35,9
	Dcda	ort.	472,9	31,5	32,3	54,3	0,0666	114,0	0,31	0,39	3,8	27,7
Pendik Formasyonu	Dpk	ort.	338,0	32,1	12,2	36,5	0,0448	75,5	0,20	0,29	2,5	19,0
		min	181,5	12,4	19,9	25,6	0,0314	54,7	0,15	0,18	1,8	12,9
		max	801,3	54,3	47,1	87,8	0,1076	183,3	0,50	0,64	6,1	44,8
	Dpkz	ort.	497,0	29,9	34,0	55,6	0,0682	116,6	0,32	0,40	3,9	28,2
Pelitli Formasyonu	Sdp	ort.	488,3	29,6	39,4	58,5	0,0718	123,5	0,33	0,41	4,1	29,6
		ort.	344,3	21,0	16,6	34,4	0,0422	71,3	0,19	0,25	2,4	17,6
		min	328,7	14,8	31,3	40,0	0,0490	84,8	0,23	0,27	2,8	20,0
	Sdps	max	688,6	29,6	49,9	73,4	0,0900	153,9	0,42	0,50	5,1	37,0
		ort.	508,6	23,5	40,6	57,3	0,0702	120,6	0,33	0,39	4,0	28,8
		min.	356,8	22,2	30,5	44,1	0,0540	93,2	0,25	0,31	3,1	22,3
	Sdpd	max.	616,6	48,2	45,9	76,5	0,0938	161,1	0,44	0,57	5,3	39,0
		ort.	471,7	32,5	36,9	57,6	0,0707	121,6	0,33	0,42	4,0	29,3
Yayalar Formasyonu	Osyg	min	269,2	33,3	21,1	39,7	0,0487	84,2	0,23	0,32	2,8	20,5
		max	463,2	54,3	28,4	62,1	0,0761	130,6	0,35	0,50	4,3	32,1
		ort.	368,4	43,2	25,4	51,1	0,0627	107,9	0,29	0,41	3,6	26,4
	Osyş	min.	93,9	8,6	3,2	9,9	0,0122	20,5	0,06	0,08	0,7	5,2
		max.	1023,5	54,3	59,3	104,6	0,1283	217,8	0,59	0,74	7,3	53,2
		ort.	480,5	29,4	27,4	50,6	0,0621	105,5	0,29	0,36	3,5	25,8
Aydos F.	Oa	ort.	181,5	19,8	25,6	32,6	0,0400	70,3	0,19	0,24	2,3	16,5
Kurtköy Formasyonu	Opk	min.	372,5	3,7	15,0	26,6	0,0326	53,8	0,15	0,16	1,9	13,4
		max.	813,8	60,5	49,9	92,9	0,1139	194,5	0,53	0,69	6,5	47,5

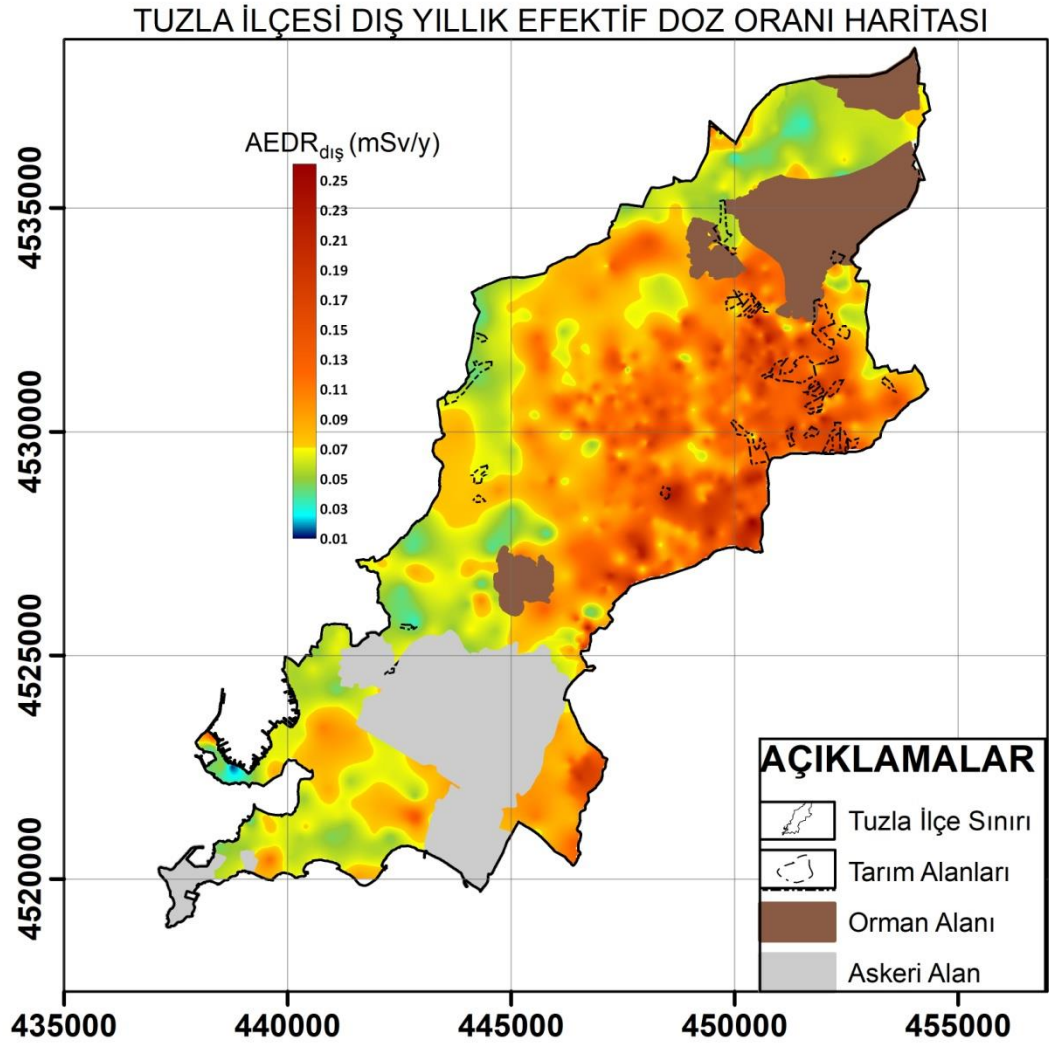
Kocatöngel Formasyonu	Opks	ort.	555,3	33,3	29,6	57,0	0,0699	118,4	0,32	0,41	4,0	29,1
		min	338,0	7,4	11,0	24,3	0,0298	49,1	0,13	0,15	1,7	12,4
		max	744,9	43,2	50,3	82,3	0,1009	172,4	0,47	0,58	5,7	41,8
	Opkb	ort.	472,6	25,0	28,7	49,1	0,0602	102,3	0,28	0,34	3,4	24,9
		ort.	397,5	30,9	21,9	44,5	0,0545	92,8	0,25	0,33	3,1	22,8
		min	172,2	3,7	13,8	17,5	0,0214	36,7	0,10	0,11	1,2	8,7
	Opkc	max	1045,4	67,9	64,1	114,8	0,1408	240,0	0,65	0,83	8,0	58,6
		ort.	510,8	36,1	32,0	57,9	0,0710	121,1	0,33	0,43	4,0	29,5
	Güncel Birikintiler	Qal	min.	344,3	6,2	6,5	21,2	0,0261	41,9	0,11	0,13	1,5
max.			1571,3	65,5	90,1	151,7	0,1861	315,1	0,85	1,03	10,6	76,9
ort.			723,3	33,6	41,0	71,1	0,0872	147,8	0,40	0,49	5,0	36,1
Qal-kş		min	513,3	38,3	35,7	61,3	0,0752	128,8	0,35	0,45	4,3	31,3
		max	610,4	87,7	57,2	101,5	0,1245	216,4	0,58	0,82	7,1	52,2
		ort.	571,9	55,6	47,1	78,8	0,0966	166,8	0,45	0,60	5,5	40,2
Qs		min.	181,5	13,6	10,6	20,4	0,0250	42,6	0,12	0,15	1,4	10,4
		max.	525,8	37,1	43,4	66,0	0,0810	139,6	0,38	0,48	4,6	33,5
		ort.	415,7	23,6	27,3	45,2	0,0554	94,6	0,26	0,32	3,2	23,0
Qym		ort.	488,3	45,7	26,4	57,9	0,0710	121,0	0,33	0,45	4,0	29,8
Qyb		ort.	660,4	39,5	35,7	68,0	0,0834	141,4	0,38	0,49	4,7	34,7

Şekil 6.4, çalışma alanındaki soğurulan gama doz hızının bir haritasını göstermektedir. Hesaplanan soğurulan gama doz oranları farklı jeolojik birimler için 9–246 nGy/h, arasında değişmektedir (Tablo 6.3). Şekil 6.4’de çalışma alanı içinde soğurulan gama doz oranlarının dünya ortalama değerinden daha yüksek değerli alanlar olduğu görülmektedir. Tablo 4.1’de verilen gama doz oranına bağlı risk derecesinin de yüksek olduğu Şekil 6.4’deki kırmızı renklerin baskınlığından anlaşılabılır. Doz değerinin yüksek olmasındaki en önemli etken Sancaktepe granitleri ve volkanik birimlerin taşınıp-çökmesi ile oluşan alüvyon birimlerdir. Çalışma alanındaki tüm jeolojik birimler arasında, K^{40} elementi en yüksek soğurulan gama doz oranını (tüm jeolojik birimlerde %70’in üzerinde) sergilerken Th^{232} ve U^{238} arasında geri kalan gama doz oranını (%10 ile 20 arasında değişiyor) neredeyse eşit olarak bölünmektedir. Bu anlamda jeolojik birimlerden kaynaklı doz oranı haritası radyolojik açıdan riskli alanlar olduğunu göstermektedir. Özellikle Tablo 4.2’de görüleceği üzere doz oranının 120 nGy/h’den daha yüksek olan kesimlerin yüksek risk derecesinde olduğu UNSCEAR (2000)’de belirtilmektedir. Bu riskli alanlar çalışma alanının çoğunlukla batı bölgesinde yoğunlaştığı ve bu alanlarında jeolojik olarak Sancaktepe granitlerinden oluştuğu hem Şekil 6.4’deki doz oran haritasından hem de Şekil 2.1’deki jeoloji haritasından anlaşılmaktadır.



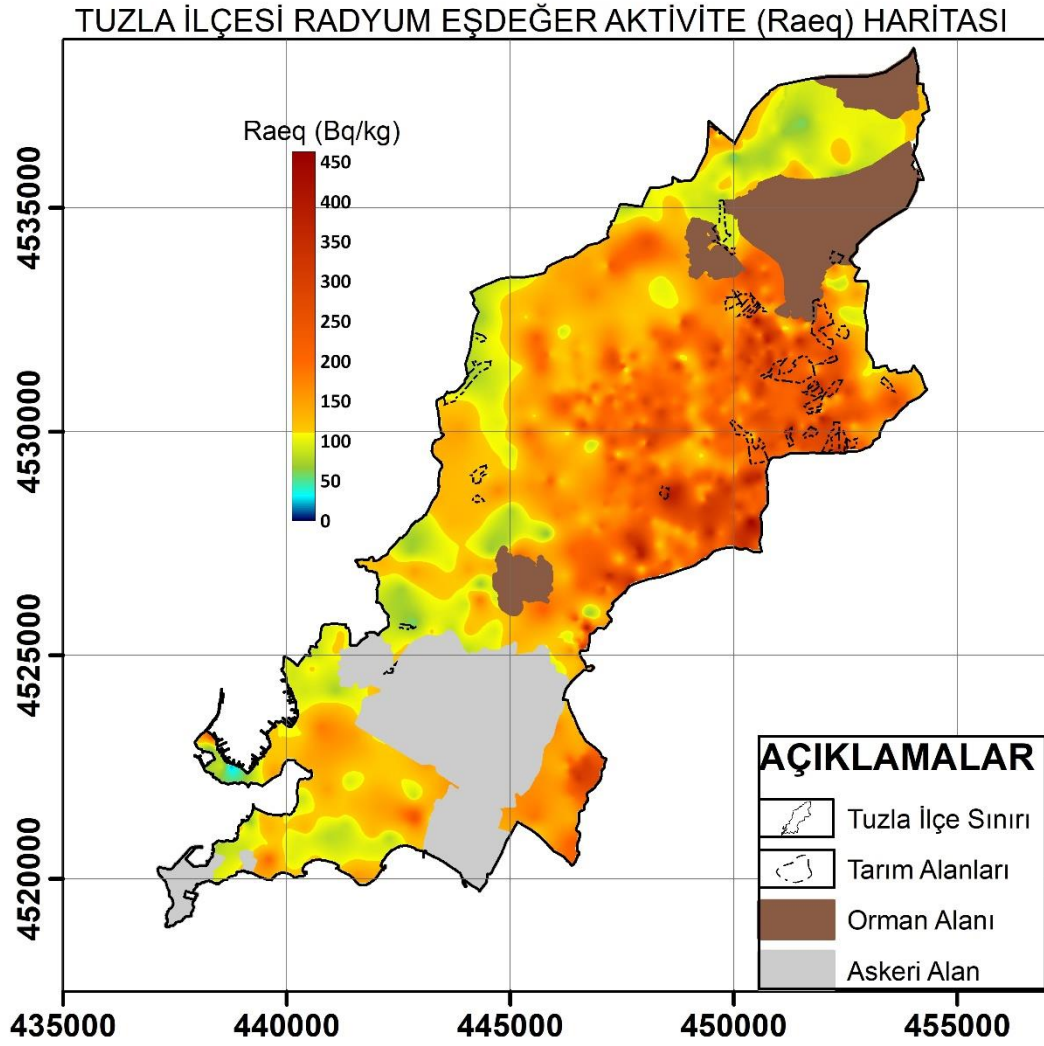
Şekil 6.4. Tuzla ilçesine ait jeolojik birimlerden kaynaklı Doz haritası

Şekil 6.5’de jeolojik birimlerden kaynaklı yıllık efektif doz oranı (AEDR), dünya ortalama (0,07mSv/y, UNSCEAR 2000) değeri dikkate alınarak harita oluşturulmuştur. Ayrıca Tablo 6.3’de jeolojik birimlerdeki yıllık efektif doz oranının ortalama değerleri incelendiğinde en yüksek doz değerinin Sancaktepe granitlerinde (0,16nGy/h) elde edildiği ve ikinci olarak güncel birikintilerde Qal ve Qal-kş simgeli jeolojik birimlerde de yüksek elde edildiği görülecektir. Buna karşın Kuşdili, Sultanbeyli, Denizliköyü, Pendik, Pelitli, Yayalar, Aydos, Kurtköy ve Kocatöngel formasyonlarında elde edilen yıllık efektif doz değerleri dünya ortalama (0,07nGy/h) değeri civarında elde edilmiştir. Şekil 6.5’deki haritadan da görüleceği üzere tarım alanlarındaki yıllık efektif doz oranı dünya ortalama değerinden yaklaşık üç kat daha fazladır. Bu durumda tarlalarda çalışan çiftçiler olumsuz etkilenebilir.



Şekil 6.5. Tuzla ilçesine ait jeolojik birimlerden kaynaklı yıllık efektif doz haritası

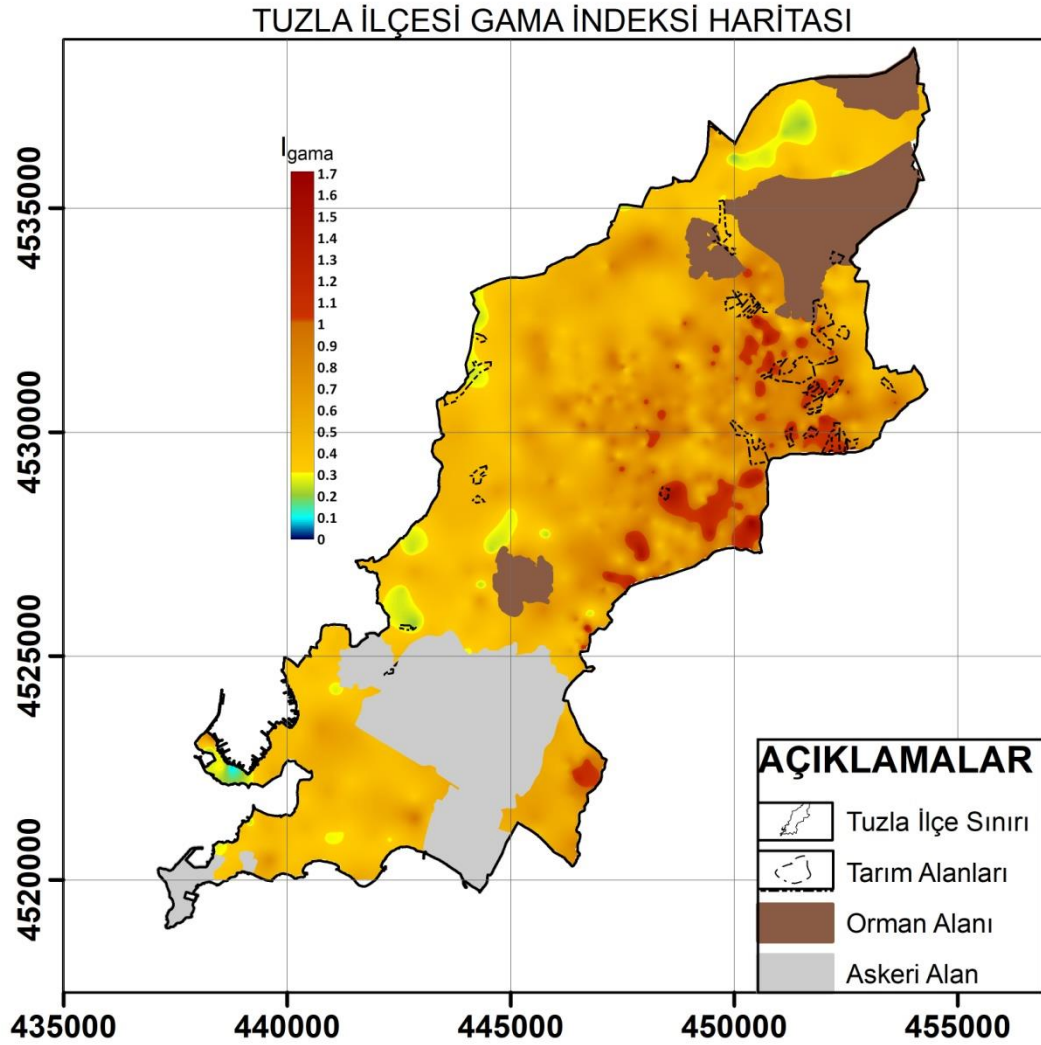
K^{40} , U^{238} ve Th^{232} aktivite konsantrasyon değerleri ve [Eşitlik 4.3](#) kullanılarak hesaplanan jeolojik birimlerin radyum eşdeğer aktivitelerinin (Ra_{eq}) ortalamaları, dünya ortalamasından (109Bq/kg, [UNSCEAR 2000](#)) Tuzla ilçesinin birçok alanında daha yüksek elde edilmiştir ([Şekil 6.6](#)). Bununla birlikte [OECD \(1979\)](#) da yapılaşma için kullanılan yapı malzemelerinde radyum eşdeğer aktivite indis için üst sınır değeri 370Bq/kg olarak belirtilmektedir ve bu üst sınır değer üzerinde olan yapı malzemelerinin yapılaşmada kullanımına izin verilmemektedir. Dolayısıyla Sancaktepe granitleri ve volkanik birimlerden oluşan alüvyonlar kullanılarak yapı malzemesi yapılması durumunda insan sağlığına zararlı durumlar söz konusu olabilir.



Şekil 6.6. Tuzla ilçesine ait jeolojik birimlerden kaynaklı Radium eşdeğer haritası

Uluslararası Atom Enerjisi Ajansının halkın kapalı ortamlardaki radondan ve diğer doğal radyasyonlardan korunmasına ilişkin yapı malzemelerinden kaynaklanan yıllık etkin doz için referans değerini 1mSv olarak belirlenmiştir. Bu doza karşılık gelen aktivite konsantrasyon indisi (I) malzemenin yoğunluğuna ve kullanım şekline bağlı olarak sınırlandırmalar EC (1999) tarafından Tablo 4.1’de verilmiştir. Yapı içerisinde ya da dışında kullanılan yapı malzemelerinin aktivite konsantrasyon indisi değeri Tablo 4.2’de verilen değerlerden büyük olması durumunda kullanılmaması önerilmektedir. Aktivite konsantrasyon indeksi ya da gama indeksi değerleri Eşitlik 4.4 kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 6.7’de sunulmuştur. Bu şekilden de görüleceği üzere gama indeksinin 1 değerinden yüksek olan alanlar kırmızı renk ile gösterilmiştir. Dolayısıyla bu alanlardaki jeolojik birimlerden yapı malzemesi yapılması ve bu malzemelerin yapılarda

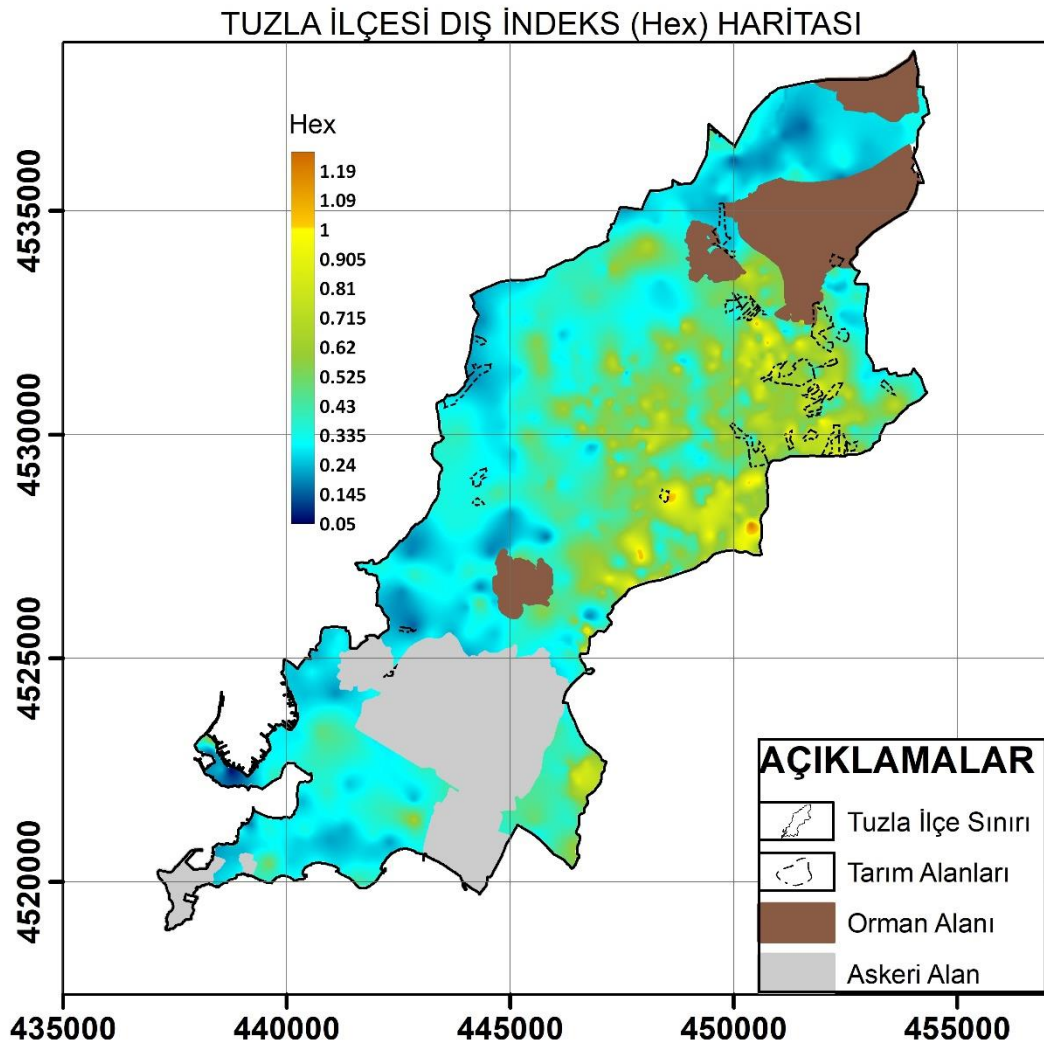
kullanılması EC (1999) tarafından insan sağlığına zararlı etkileri olması açısından önerilmemektedir.



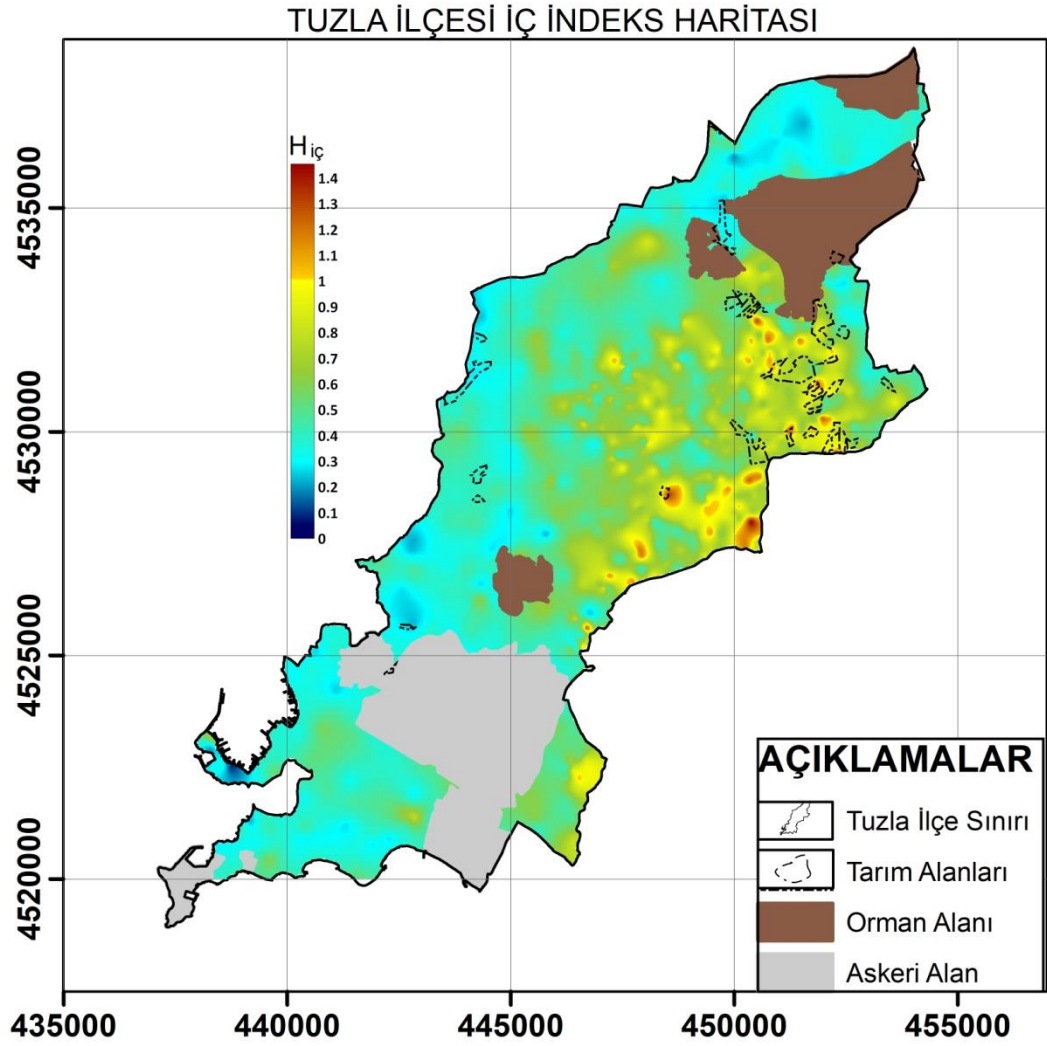
Şekil 6.7. Tuzla ilçesine ait jeolojik birimlerden kaynaklı 1mSv yıllık etkin doza karşılık gelen aktivite konsantrasyon indisi (I) haritası

Dış ya da iç radyasyon tehlike indeksinin radyolojik risk açısından $H_{dış} \leq 1$ ve $H_{iç} \leq 1$ olması gerektiği aksi halde yaşam alanı radyolojik tehlike altında olduğu UNSCEAR (2000)'de belirtilmektedir. Tuzla ilçesinde jeolojik birimler üzerinde yapılan gama-ışın spektrometre ölçümlerinden elde edilen radyoaktif elementlerin aktivite konsantrasyon değerleri ve Eşitlik 4.5 kullanılarak dış ve iç tehlike indeksleri ($H_{dış}$ ve $H_{iç}$) hesaplanmış ve Şekil 6.8 ve 6.9'da sunulmuştur. Dış tehlike indisi $H_{dış}$ 'a ek olarak, yapılaşmalar içerisinde radon gazına maruz kalma nedeniyle iç tehlike indisi $H_{iç}$ Eşitlik 4.5b kullanılarak hesaplanır. Bu haritalarda UNSCEAR (2000) tarafından verilen sınır değeri ($H_{dış} \leq 1$ ve $H_{iç} \leq 1$) kullanılarak haritalardaki radyolojik tehlikeli alanlar ayırt

edilebilmektedir. Dış tehlike indeks haritasında sarı renkli alanlar sınır değere yakın ve kırmızılı alanlar sınır değeri aşan alanları göstermektedir. Bu haritada sınırlı radyolojik tehlikeli alanlar olduğu gözlenmektedir. Ancak İç tehlike indeks haritasında (Şekil 6.9) radyolojik tehlike sınırını geçen ve insan sağlığına zararlı etki edebilecek alanların fazlaştığı görülmektedir. Bu alanlardaki radyolojik tehlike özellikle Sancaktepe granitlerinin bulunduğu ve bu volkanik birimin aşınması ve taşınıp çökmesi sonucundaki alüvyon birimlerin olduğu kesimlerdedir. Özellikle Sancaktepe granitlerin olduğu alanlarda önleyici tedbirler alınmazsa, radon ve türevleri bölge sakinlerinin ve çiftçilerin solunum organları için oldukça zararlı olabilir.



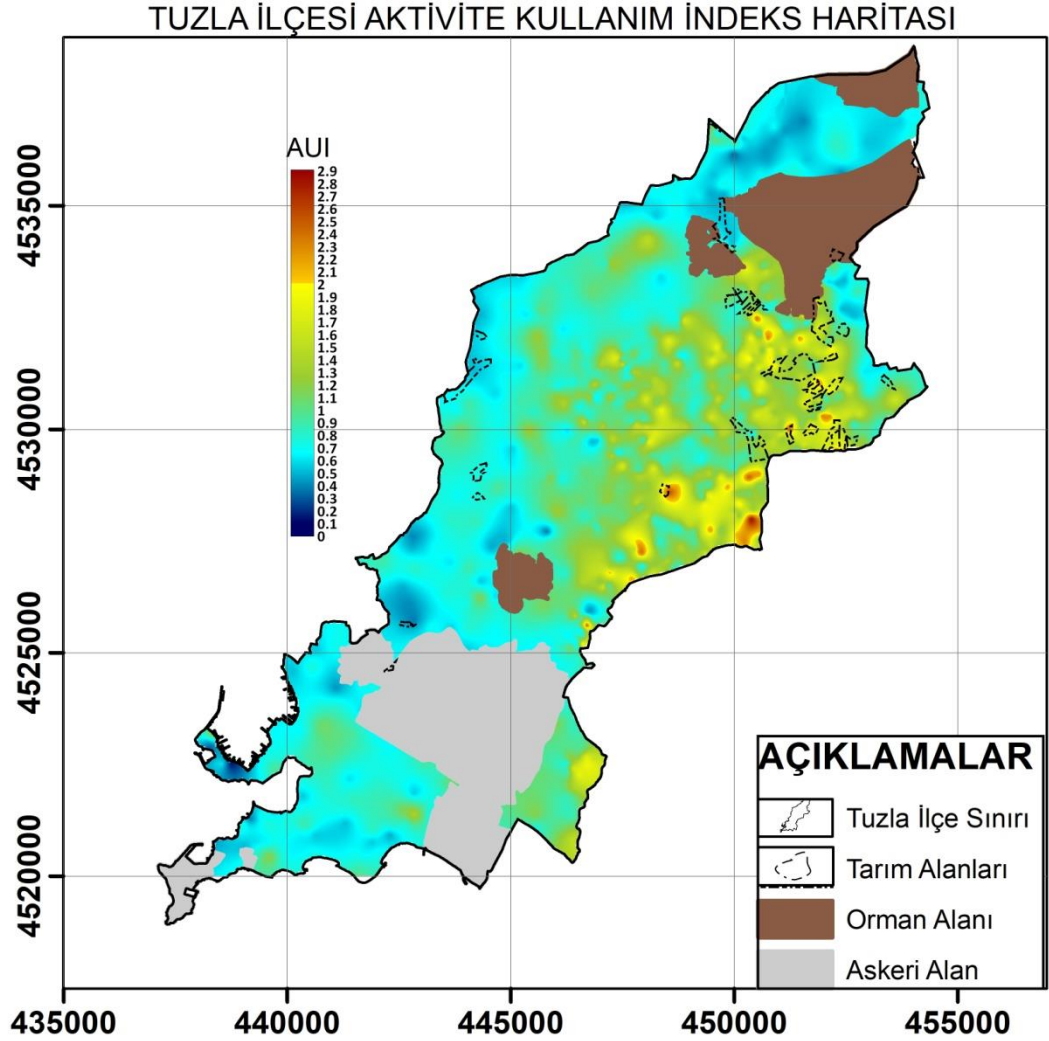
Şekil 6.8. Tuzla ilçesine ait jeolojik birimlerden kaynaklı Dış İndeks haritası



Şekil 6.9. Tuzla ilçesine ait jeolojik birimlerden kaynaklı İç İndeks haritası

Radyolojik risk açısından sağlığın tehlike durumunu değerlendirme çalışmalarında tarım alanları için genellikle gübrelerde ve gübrelenmiş topraklarda bulunan çeşitli radyonüklidlerin farklı kombinasyonlarından havadaki doz oranlarını tahmin etmek için aktivite kullanım indeksi (AUI) [Eşitlik 4.6](#) kullanılarak hesaplanmaktadır. Hesaplanan aktivite kullanım indeks değerleri [Şekil 6.10](#)'da harita olarak sunulmuştur. Radyolojik risk açısından tehlike arz eden sınır değer 2 ve civarı alanlar sarı ve kırmızı renkler ile [Şekil 6.10](#)'da görülmektedir. [Şekil 6.10](#)'da tarım alanları kesikli çizgiler ile belirtilmiş ve bazı tarım alanlarının radyolojik açıdan tehlike sınır değer civarında ve üzerinde olduğu görülmektedir. Özellikle Sancaktepe granitlerinin bulunduğu alanlardaki tarım alanlarında uygulanan gübrelerdeki radyonüklidler ve doğal topraktaki radyonüklidlerin yoğunluğuna bağlı radyolojik tehlike daha da artmaktadır. Bu açıdan tarım alanlarında

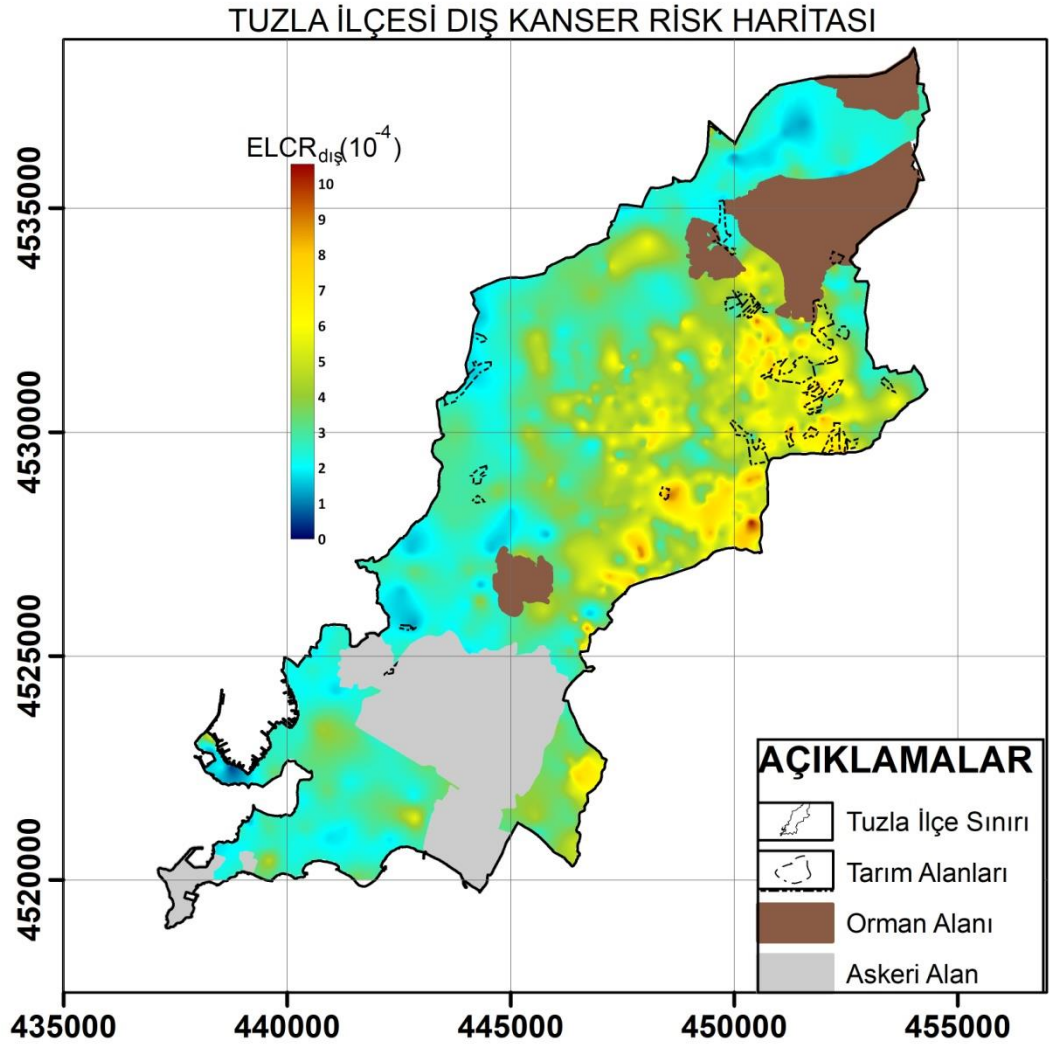
uygulanması gereken gübreler için tarım toprağının özelliklerinin belirlenmesi hem insan sağlığı hem de daha sağlıklı ürün elde edilmesi açısından önemlidir.



Şekil 6.10. Tuzla ilçesine ait jeolojik birimlerden kaynaklı aktivite kullanım indeks haritası

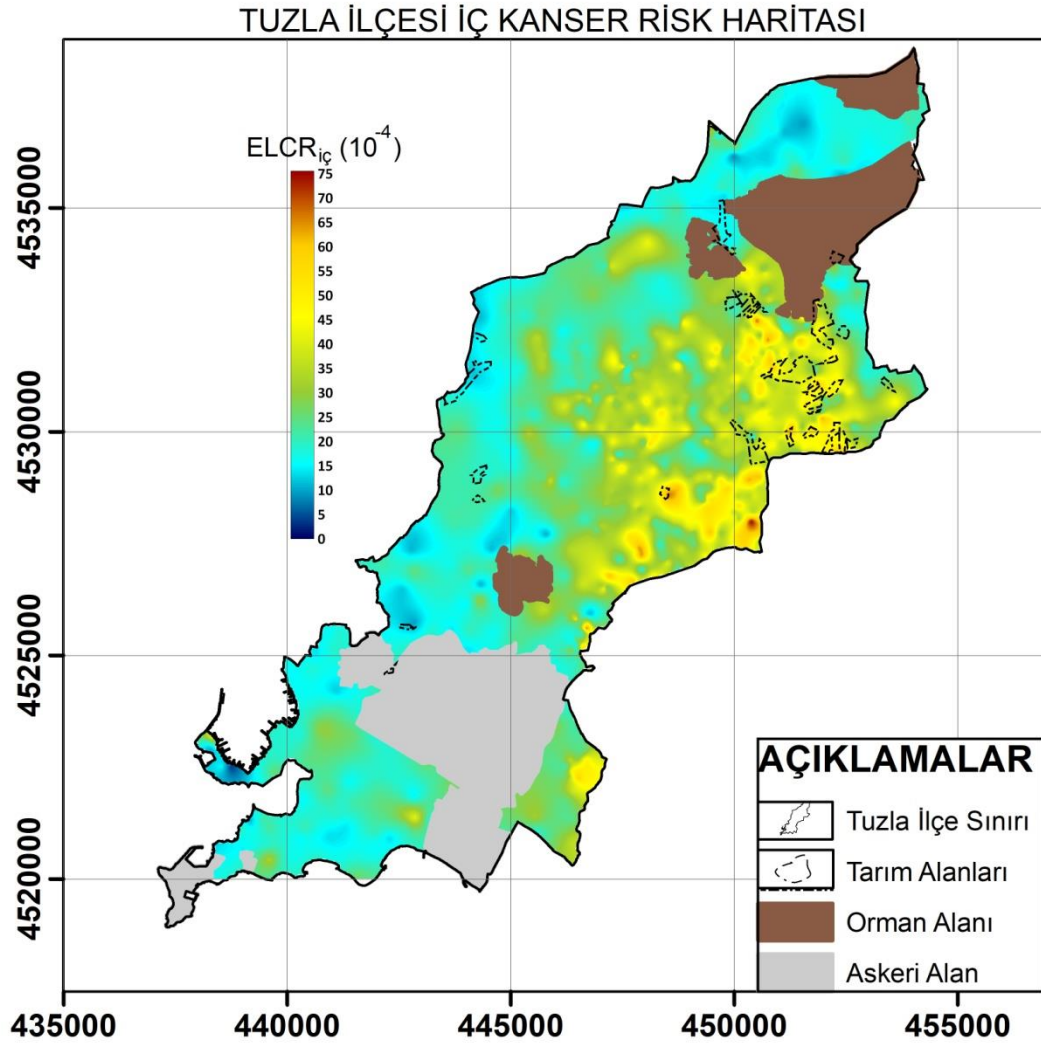
Doğal radyoaktif elementlerden kaynaklanan radyasyon dozlarına uzun süre maruz kalındığında insanlarda kanser gibi zararlı etkiler oluşabilmektedir. Bu zararlı etkileri ve yaşam boyu kanser riskini tahmin etmek için [Eşitlik 4.7](#) ve doğal radyoaktif elementlerin aktivite konsantrasyon değerleri kullanılmıştır. Dış ortamdan kaynaklı ve yaşadığımız konutların bulunduğu ortamlardan kaynaklı olarak dış ve iç kanser etkisi ayrı olarak hesaplanmış ve [Şekil 6.11](#) ve [6.12](#)'de sunulmuştur. Bu haritalardaki skala değeri 10.000 insan içerisinde kaç insanın doğal ortamdaki radyolojik tehlikeden kaynaklı kanserden ölüm oranını göstermektedir. Bu durumda [Şekil 6.11](#) incelendiğinde Sancaktepe

granitleri ve civarında 10.000 insanda 7-10 arası insanın doğal ortamdan kaynaklı kanser etkisinden öleceği tahmin edilmektedir.



Şekil 6.11. Tuzla ilçesine ait jeolojik birimlerden kaynaklı yaşam boyu dış kanser etki haritası

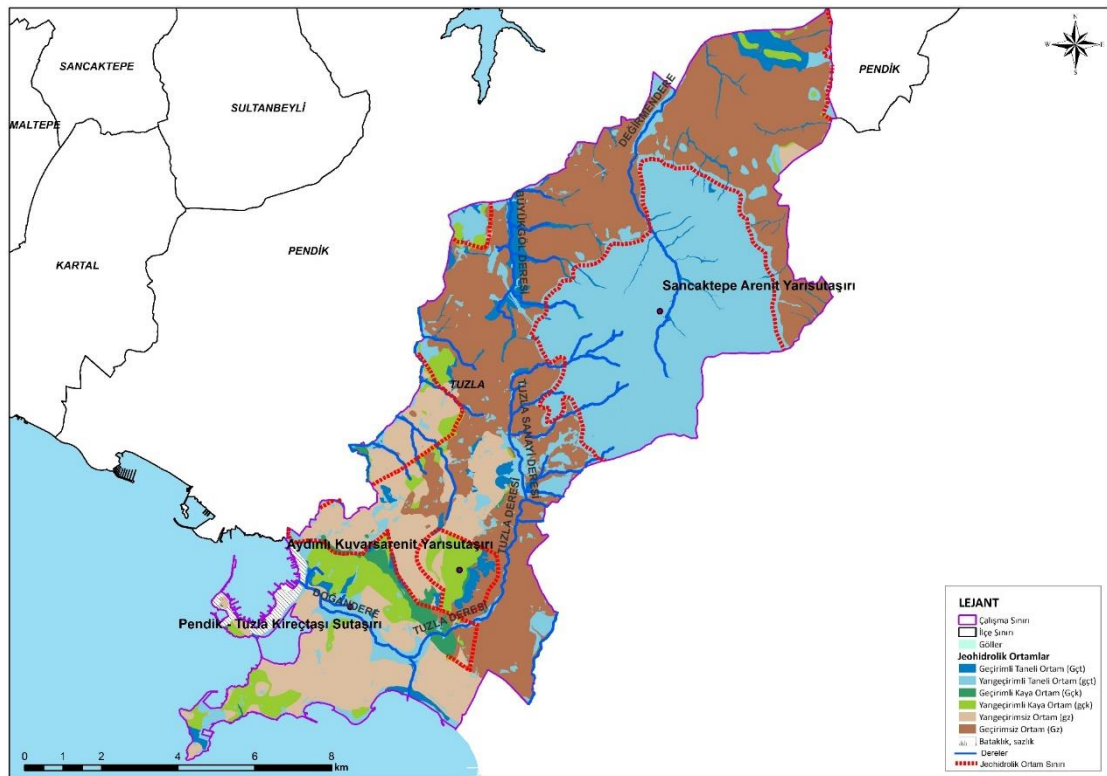
Şekil 6.11'e benzer olarak hazırlanan Şekil 6.12'de daha fazla insanın kanser etkisi ile öleceği tahmin edilmektedir. Şekil 6.12 irdelendiğinde Sancaktepe granitleri ve civarındaki konutlarda yaşamını sürdüren ve uzun süre bu bölgede yaşayan insanların 10.000'de en fazla 75 insanın doğal ortamdan kaynaklı kanser etkisi ile öleceği tahmin edilmektedir. Dolayısıyla Sancaktepe granitleri ve civarında yaşayan insanların doğal ortamlarından kaynaklı kanser etkisinden korunması için gerekli önlemler alınmalıdır. Özellikle bu bölgedeki yapılaşmalarda yapı içerisine doğal ortamdan kaynaklı radon gazının girişinin önlenmesi önemli bir adım olacaktır.



Şekil 6.12. Tuzla ilçesine ait jeolojik birimlerden kaynaklı yaşam boyu iç kanser etki haritası

Çalışma alanının hidrojeolojik haritası İBB (2011)'de üretilmiş jeolojik birimlerin geçirimsizlik durumları renklere göre ayırt edilmiştir. Radyolojik risk çalışmaları sonucunda özellikle Sancaktepe granitleri diğer jeolojik birimlere nazaran daha riskli bir alan olduğu ortaya konulmuştur. Şekil 6.13'de sunulan hidrojeoloji haritasının kuzeyinde Pendik ilçesi sınırına yakın koyu mavi renkli alanların geçirimli taneli ortam olduğu belirtilirken bu ortamlardaki jeolojik birimlerden kaynaklı K^{40} , U^{238} ve Th^{232} değerleri yaklaşık %3, 3.5ppm ve 16ppm civarlarındadır. Bu değerler dünya ortalama değerlerinden biraz fazladır. Ek olarak yarı geçirimli ortamdaki K^{40} , U^{238} ve Th^{232} değerleri yaklaşık %5.5, 6-7ppm ve 28-30ppm aralıklarında olduğu görülmektedir. Bu değerlerde dünya ortalama değerlerinden 2-3 kat fazla olduğu anlaşılmaktadır. Sancaktepe granitlerinin bulunduğu kesimler yarı geçirimli alanlar olarak

Jeohidrolik ortamlar olarak Pendik-Tuzla Kireçtaşı sutaşırı, Aydınli Kuvarseranit yarisutaşırı ve Sancaktepe Arent Yarisutaşırı bulunmaktadır. Su taşıyan jeolojik ortamlardan Sancaktepe granitinin bulunduğu alanda, dünya ortalama değeriinin yaklaşık 2-3 katı Uranyum, Toryum ve Potasyum radyoaktif elementlerinin bulunması nedeniyle su kuyularından örnek numuneler alınarak laboratuvar analizlerinin belirli periyotlarla yapılması önerilmektedir.



İBB (2017) tarafından İstanbul ili için yapılan “Arazi Kullanımına Esas Jeolojik Raporu”nda yerleşime uygunluk açısından öncelikli yerleşime uygun alan olarak Tuzla ilçesindeki Sancaktepe granitleri de önerilmektedir (Şekil 6.14). Yerel zemin etkileri dikkate alındığında Sancaktepe granitleri kaya ortam olması nedeni ile deprem

**İSTANBUL
BÜYÜKŞEHİR
BELEDİYESİ**

**DEPREM VE ZEMİN İNCELEME MÜDÜRLÜĞÜ
İSTANBUL İLİ, 1/25000 ÖLÇEKLİ
ARAZİ KULLANIMINA ESAS
JEOLOJİK ETÜT RAPORU
HAZIRLANMASI İŞİ
2017**

LEJANT

Y1	(Yerleşilebilirlik Açısından 1.Öncelikli Alanlar) %0-20 Eğimli Kaya Ortam
Y2	(Yerleşilebilirlik Açısından 2.Öncelikli Alanlar) %0-10 Eğimli Zemin Ortam
Y3	(Yerleşilebilirlik Açısından 3.Öncelikli Alanlar) %20-50 Eğimli Kaya, %10-30 Eğimli Zemin Ortam
Y4	(Yerleşilebilirlik Açısından 4.Öncelikli Alanlar) >%50 Eğimli Kaya, >%30 Eğimli Zemin Ortam
Y5	(Yerleşilebilirlik Açısından 5.Öncelikli Alanlar) Dere, havza koruma kuşağı, taşkın, alüvyon, dolgu vb.
Y6	(Yerleşilebilirlik Açısından 6.Öncelikli Alanlar) Göl, gölet, bataklık, ocak, döküm sahaları vb.
AMB	Afete Maruz Bölgeler

Doğal radyoaktivite açısından Sancaktepe granitleri düşünüldüğünde yapılaşma için önlemler alınması gerekmektedir. Bu önlemler basitçe izleyen biçimde sıralanabilir;

Yapının zeminden gelecek radonun etkisini kesmek için izole etmek amacıyla uzun ömürlü yalıtım malzemeleri kullanılarak yapı bohçalanmalıdır. Binanın zeminle bağlantılı olan atık su boruları ya da temiz su giriş borularından sızıntıyı engelleyecek sistemlerin kullanılması önerilmektedir. Ayrıca bohçalama sistemine ek olarak bodrum katlarının tabanındaki beton üzerine şap uygulaması ek bir önlem olacaktır. Bunlara ek olarak özellikle bodrum katlarında havalandırma sistemi kurularak içerideki hava temizlenmelidir. Bu tür önlemler alınmaması durumunda da radon bina içerisine doğal zeminden ve borular aracılığı ile tüm binanın katlarına ulaşmaktadır. Bu durum akciğer kanserine neden olacaktır.

7. SONUÇLAR

Tuzla ilçesi jeolojik birimler üzerinde toplam 1000 adet gama-ışın spektrometre ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümler sonucunda K^{40} , U^{238} ve Th^{232} radyoaktif elementlerin aktivite konsantrasyon değerlerinden radyolojik risk parametreleri hesaplanmış ve tüm parametrelerin haritaları yapılarak hem dünya ortalama değerleri ile hem de dünyadaki benzer jeolojik birimlerin sonuçları ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Ayrıca elde edilen tüm radyoaktif haritalardan yararlanarak çalışma alanında yaşayan insanların maruz kaldığı radyasyon miktarı tahmin edilmiştir hem de yeraltı su ve tarım alanları hakkında önerilerde bulunulmuştur.

Çalışma alanında radyoaktif elementlerin aktivite konsantrasyon değerlerinin dünya ortalama değerlerinden yaklaşık 3 kat daha yüksek olan jeolojik birimler sırasıyla Sancaktepe Granitleri ve alüvyon zeminlerken, diğer jeolojik formasyonların radyoaktif elementlerinin aktivite konsantrasyon değerleri dünya ortalama civarındadır.

Çalışma alanındaki Sancaktepe granitlerindeki K^{40} aktivite konsantrasyon değerleri dünyadaki birçok ülkedeki granitlerin K^{40} aktivite konsantrasyon değerlerinden yüksek olduğu, U^{238} ve Th^{232} aktivite konsantrasyon değerlerinin diğer dünya ülkeleri ile yaklaşık benzer olduğu belirlenmiştir.

Radyolojik risk parametrelerine göre çalışma alanında insan sağlığı açısından en riskli jeolojik birimler Sancaktepe granitleri ve bu volkanik birimden oluşan alüvyal zeminlerdir. Bu alanlarda yaşayan insanlar yüksek derecede gama dozuna maruz kaldığı belirlenmiştir. Ayrıca Sancaktepe granitleri ve bu volkanik birimden oluşan alüvyal zeminlerden yapılacak yapı malzemelerinden kaynaklı olarak kapalı ortamlarda daha yüksek radyasyona maruz kalınacağından dolayı bu birimlerden yapı malzemeleri yapılırsa bu yapı malzemelerinin radyasyon kontrolleri yapılmalıdır.

Doğal jeolojik birimlerden kaynaklı radyasyon tehlikesinin olduğu kesimler Dış ve İç indeks haritalarında 1 değerinden büyük olan alanlar ki bu alanlar Sancaktepe granitlerinin olduğu kesimlerde elde edilmektedir. Ayrıca Sancaktepe granitlerinin bulunduğu alanlardaki tarım alanlarında uygulanan gübrelerdeki radyonüklidler ve doğal topraktaki radyonüklidlerin yoğunluğuna bağlı radyolojik tehlike daha da artmaktadır. Bu durumda çiftçiler daha fazla radyasyona maruz kalmaktadır.

Çalışma alanında en yüksek kanser etkisi riski Sancaktepe granitlerinde ve bu volkanik birimden oluşan alüvyal zeminler üzerinde yaşayan insanlarda olacağı tahmin edilmektedir.

Çalışma alanının hidrojeolojik haritası ile radyolojik risk haritaları karşılaştırıldığında radyolojik riskin yüksek olduğu Sancaktepe granitleri içerisinde mevcut yeraltı suları aynı zamanda radyonüklidleri de bulunduracaktır. Bu yüzden özellikle Sancaktepe granitlerindeki yeraltı sularının radyoaktif özelliklerinin belirlenmesi faydalı olacaktır.

2017 yılında İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Şube Müdürlüğü tarafından hazırlanan İstanbul İli, 1/25.000 Ölçekli Arazi Kullanımına Esas Jeolojik Etüt Raporunda, yerleşilebilirlik açısından birinci öncelikli alan (Y1) olarak gösterilen (Sancaktepe Granitleri) alanların bu çalışmada doğal radyoaktivite riski teşkil ettiği belirlenmiştir. Bu sebeple, önceliklendirmenin deprem, heyelan, taşkın vb. tehlikelerin yanı sıra jeomedikal tehlike boyutunun da dikkate alınarak yapılması önerilmektedir.

Sonuç olarak volkanik bir kaya olan Sancaktepe granitleri ve bu volkanik birimden oluşan alüvyonal zeminler çalışma alanının en yüksek kanser etkisini yaratan kaynaklar olarak belirlenmiştir. Kanser etki oranı bina içlerinde daha fazla olmasından dolayı binaya girecek radona gerekli önlemlerin alınması önerilmektedir.

Uranyumun dönüşüm ürünü olan Radon renksiz ve kokusuz bir gaz olup zeminden bina içine ulaşmaktadır. Özellikle binaların bodrum ve giriş katlarında yoğunlaştığı ve birçok bağlantı (atık su boruları, havalandırma alanları vb.) ile yukarı katlara ulaştığı bilinmektedir. Bu katlarda bina içi havalandırma sistemleri kurulabilir. Bu katlardaki konutların sık sık havalandırılması önerilmektedir. Birleşik Krallık Sağlık Güvenlik Kurumu (UK Health Security Agency)'nın yayınlamış olduğu Radon ve Yapı Yönetmeliği uyarınca yerbilimsel çalışmalar sonucu radyoaktivite ve radon tehlikesi bulunan yerlerde radon bariyerlerinin/membranlarının kullanımı zorunludur. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA) yeni yapılacak binaların temeline radon membranları serilmesini önermektedir. Başta İngiltere olmak üzere, İrlanda ve Amerika Birleşik Devletlerinde radon membranları yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ülkemizde de bu tür uygulamaların başlaması ve yapı yönetmeliklerimizde yer alması insan sağlığı açısından önem arz etmektedir. Dolayısıyla çalışma alanında yer alan Sancaktepe granitleri ve civarında yeni yapılacak yapılarda zeminden bina içine radon girişimini

engellemek adına, yapı ile zeminin temas edecek alanlarında membran kullanılması önerilmektedir.

Sancaktepe Granitinin kapladığı bölgede yaşayan insanlara doğal radyoaktivite, radon ve zararları hakkında bilgiler veren broşürler dağıtılarak jeomedikal bir tehlike hakkında farkındalık oluşturulması ve yaşadıkları yapılarda radon ölçümleri yaptırmaları teşvik edilmelidir.

Mekansal Planlama kapsamında gerçekleştirilen yerleşime uygunluk etütlerinde, çalışma alanında volkanik kayalar var ise gama-ışın spektrometresi yöntemiyle ölçümlerin yapılması, tehlike düzeyinin belirlenmesi ve insan sağlığına etkisinin araştırılması sağlanmalıdır.

Bu proje ile Türkiye’de ilk defa bir ilçenin Jeomedikal (Radyoaktivite) tehlike haritaları hazırlanmış, yerleşime uygunluk, tarım alanları, su kaynakları ile insan sağlığı yönünden değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu yönüyle ele alındığında vizyoner bir proje niteliğindedir. Tuzla’da yapılan gama spektrometresi ölçümlerinin, volkanik kayaların bulunduğu diğer ilçelerde de yapılarak İstanbul İli Jeomedikal (Radyoaktivite) Tehlike Haritalarının oluşturulması önerilmektedir.

Recep Emrah ALDEMİR
Jeofizik Mühendisi

Doç. Dr. Osman UYANIK
Jeofizik Yüksek Mühendisi
(Danışman)

KAYNAKLAR

- Abojassim, A.A., Rasheed, L.H. (2021). Natural radioactivity of soil in the Baghdad governorate. *Environmental Earth Sciences*, 80, 10.
- Abd El Raham, R.M., Taalab, S.A., Al Full, Z.Z., Mohamed, M.S., Sayyed, M.I., Almousa, N., Hanfi, M.Y. (2022). Natural radionuclide levels and radiological hazards of Khour Abalea mineralized pegmatites. *Southeastern Desert Egypt, Mineral*, 12, 353.
- Abd El-Mageed, I.A., El-Kamel, H.A., Abbady, A., et al. (2011) Assessment of Natural and Anthropogenic Radioactivity Levels in Rocks and Soils in the Environments of Juban Town in Yemen. *Radiation Physics and Chemistry*, 80, 710-715.
- Ahmad, N., Matiullah, Khatibeh, A.J.A.H., Maly, A., Kenawy, M.A. (1997). Measurement of natural radioactivity in Jordanian sand. *Radiation Measurements*, 28(1-6), 341-344.
- Aissa, M., Jubeli, Y.M. (1997). Carborne Gamma-Ray Spectrometric Survey of an Area East of Homs, Central Syria. *Applied Radiation and Isotopes*, 48 (1), 135-142.
- Ajayi, I. R., Kuforiji, O.O. (2001). Natural radioactivity measurements in rock samples of Ondo and Ekiti states in Nigeria. *Radiation Measurements*, 33, 13-16.
- Akingboye, A.S., Ogunyele, A.C., Jimoh, A.T., Adaramoye, O.B., Adeola, A.O., Ajayi, T. (2021). Radioactivity, radiogenic heat production and environmental radiation risk of the Basement Complex rocks of Akungba-Akoko, southwestern Nigeria: Insights from in situ gamma-ray spectrometry. *Environmental Earth Sciences*, 80(6), 228.
- Ali, A., Fayez-Hassan, M., Mansour, N.A., Mubarak, F., Ahmed, T.S., Hassanin, W.F. (2018). Elemental analysis and radionuclides monitoring of beach black sand at North of Nile Delta, Egypt. *Pure and Applied Geophysics*, 175, 2269-2278.
- Anjos, R.M.D., Ayub, J.J., Cid, A.S., Cardoso, R. and Lacerda, T. (2011) External Gamma-Ray Dose Rate and Radon Concentration in Indoor Environments Covered with Brazilian Granites. *Journal of Environmental Radioactivity*, 102, 1055-1061.
- Amin, R.M. (2012) Gamma Radiation Measurements of Naturally Occurring Radioactive Samples from Commercial Egyptian Granites. *Environmental Earth Sciences*, 67, 771-775.
- Asgharizadeh, F., Abbasi, A., Hochaghani, O. and Gooya, E.S. (2011) Natural Radioactivity in Granite Stones Used as Building Materials in Iran. *Radiation Protection Dosimetry*, 149, 321-326.
- ATSDR. (1990). Agency for toxic substances and disease registry. Public Health Service, US Department of Health and Human Services.
- ATSDR. (1992). Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Case studies in environmental medicine. Radon toxicity. Public Health Service, US Department of Health and Human Services.
- ATSDR. (1999). Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Public Health Service, US Department of Health and Human Services.

- Aydın, İ., Aydoğan M.S., Oksum E., Koçak A. (2006). An attempt to use aerial gamma-ray spectrometry results in petrochemical of the volcanic and plutonic associations of Central Anatolia (Turkey). *Geophysical Journal International* 167, 1044-1052.
- Aydın, İ. (2004). Jeofizikte Radyometrik Yöntem ve Gamma-Işın Spektrometrisi. S.D.Ü. Basımevi, yayın no.49, 150. Isparta.
- Aziz, A., Attia, T., Hanafi, M. (2020). Radiological impact and environmental monitoring of gamma radiations along the public beach of Port Said, Egypt. *Pure and Applied Geophysics*, 177, 2871–2876.
- Bopp, J. (1997). Design of Low Cost Gamma Ray Spectrometer to Investigate Special Relativity. *The Journal of Undergraduate Research in Physics*, 17, 7-10.
- Bochiolo, M., Verdoya, M., Chiozzi, P., Pasquale, V. (2012). Radiometric surveying for the assessment of radiation dose and radon specific exhalation in underground environment. *Journal of Applied Geophysics*, 83, 100–106.
- Chiozzi, P., Pasquale, V., Verdoya, M. (1998). Ground Radiometric Survey of U, Th and K on the Lipari Island, Italy. *Journal of Applied Geophysics* 38 (3), 209-217.
- Chiozzi, P., Pasquale, V., Verdoya, M. (2002). Naturally Occurring Radioactivity at the Alps-Apennines. *Radiation Measurements*, 35, 147-154.
- Cetin, E., Altinsoy, N. and Örgün, Y. (2012) Natural Radioactivity Levels of Granites Used in Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 151, 299-305.
- da Costa Dantas, R., Navoni, J.A., de Alencar, F.L.S., da Costa Xavier, L.A., do Amaral, V.S. (2020). Natural radioactivity in Brazil: a systematic review. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 143–157.
- Darnley, A.G., Ford, K.L. (1989). Regional airborne gamma-ray surveys: a review; in *Proceedings of Exploration '87: Third Decennial International Conference on Geophysical and Geochemical Exploration for Minerals and Groundwater*, (ed.) G.D. Garland, Ontario Geological Survey, 3, 229-240.
- Duval, J.S., Carson, J.M., Holman, P.B., Darnley, A.G. (2005). Terrestrial radioactivity and gamma-ray exposure in the United States and Canada: U.S. Geological Survey Open-File Report 2005-1413.
- EC (European Commission), (1999). Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials, Radiation Protection 112, Directorate-General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection.
- Elster, J., Geitel, H. (1902). Ueber die Radioaktivität der im Erdboden enthaltenen Luft. *Physikalische Zeitschrift*, 3, 574–577.
- European Atlas of Natural Radiation, (2019). European Atlas of Natural Radiation, (Editors: Cinelli, G., De Cort, M., Tollefsen, T.) Publication Office of the European Union, s: 190, Luxembourg.
- Faheem, M., Mujahid, S.A., Matiullah. (2008). Assessment of radiological hazards due to the natural radioactivity in soil and building material samples collected from six districts of the Punjab province-Pakistan. *Radiation Measurements*, 43, 1443–1447.
- Fares, S. (2017). Measurements of natural radioactivity level in black sand and sediment samples of the Tamsah Lake beach in Suez Canal region in Egypt. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 10(3), 194–203.

- Frutos, B., Martí'n-Consuegra, F., Alonso, C., de Frutos, F., Sanchez, V., Garcí'a-Talavera, M. (2019). Geolocation of premises subject to radon risk: Methodological proposal and case study in Madrid. *Environmental Pollution*, 247, 556–563.
- Galbraith, J.H., Saunders, D.F. (1983). Rock Classification by Characteristics of Aerial Gamma Ray Measurements. *Journal of Geochemical Exploration* 18(1), 49-73.
- Grasty, R.L. (1975). Uranium Measurement by Airborne Gamma-ray Spectrometry. *Geophysics*, 40(3), 503-519.
- Grasty, R.L., Minty, B.R.S. (1995). A guide to the technical specifications for airborne gamma ray surveys. Australian Geological Survey Organisation, Record 1195/60, s: 89.
- Grasty, R.L., St. John Smith, B., Minty, B.R.S. (1997). Developments in the standardization and analysis of airborne gamma ray data. *Geophysics and Geochemistry at the Millenium, Proceedings of the Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration, Canada*, s: 1100.
- Gross, W.H. (1952). Radioactivity as a guide to ore. *Economic Geology*, 47, 772-742.
- Guillén, J., Tejado, J.J., Baeza, A., Corbacho, J.A. and Muñoz, J.G. (2014) Assessment of Radiological Hazard of Commercial Granites from Extremadura (Spain). *Journal of Environmental Radioactivity*, 132, 81-88.
- Hovgaard, J., Grasty, R.L. (1997). Reducing statistical noise in airborne gamma-ray data through spectral component analysis. *Geophysics and Geochemistry at the Millenium, Proceedings of the Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration, Canada*, s: 1100.
- Ibrahiem, N.M., Shawky, S., Amer, H.A. (1995). Radioactivity levels in Lake Nasser sediments. *Applied Radiation and Isotopes*, 46, 297–299.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). (1991). Airborne gamma ray surveying. Technical Reports Series No.323, Vienna, s: 97.
- Iwaoka, K., Hosoda, M., Tabe, H., Ishikawa, T., Tokonami, S. and Yonehara, H. (2013) Activity Concentration of Natural Radionuclides and Radon and Thoron Exhalation Rates in the Rocks Used as Decorative Wall Coverings in Japan. *Health Physics*, 104, 41-50.
- İBB. (2011). (Özgül N., Özcan İ., Akmeşe İ., Üner K., Bilgin İ., Korkmaz R., Yıldırım Ü., Yıldız Z., Akdağ Ö., Tekin M., Akay E., Akdeniz N., Bilgin R., Dalkılıç H., Gedik İ.). İstanbul İl Alanının Jeolojisi. İBB Deprem Risk Yönetim ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü İstanbul Kent Jeolojisi Projesi, s: 333, İstanbul.
- İBB. (2017). (Proje çalışanları: Talay T., Akmeşe İ., Bostancıoğlu İ., Aksoy P., Yeşiltaş A., Mehmetoğlu H., Tekin M.) İstanbul İli, 1/25.000 ölçekli Arazi Kullanımına Esas Jeolojik Etüt Raporu. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü, İstanbul.
- Killeen, P.G. (1979). Gamma ray spectrometric methods in uranium exploration-application and interpretation. In *Geophysics and Geochemistry in the Search for Metallic Ores*, (ed.) P.J. Hood Geological Survey of Canada, Economic Geology Report 31, 163-230.

- Küçükömeroğlu, B., Kurnaz, A., Keser, R., Korkmaz, F., Okumusoglu, N. T., Karahan, G., Sen, C., Cevik, U. (2008). Radioactivity in sediments and gross alpha-beta activities in surface water of Fırtına River, Turkey. *Environmental Geology*, 55, 1483–1491.
- Malanca, A., Gaidolfi, L., Pessina, V., Dallara, G. (1996). Distribution of ²²⁶Ra, ²³²Th, and ⁴⁰K in soils of Rio Grande do Norte (Brazil). *Journal of Environmental Radioactivity*, 30, 55–67.
- Marocchi, M., Righi, S., Bargossi, G.M. and Gasparotto, G. (2011) Natural Radionuclides Content and Radiological Hazard of Commercial Ornamental Stones: An Integrated Radiometric and Mineralogical-Petrographic Study. *Radiation Measurements*, 46, 538-545.
- Matiullah, A., Ahad, A., ur Rehman, S., ur Rehman, S., Faheem, M. (2004). Measurement of radioactivity in the soil of Bahawalpur division, Pakistan. *Radiation Protection Dosimetry*, 112(3), 443–447.
- Mehra, R., Kumar, S., Sonkawade, R., Singh, N.P., Badhan, K. (2010). Analysis of terrestrial naturally occurring radionuclides in soil samples from some areas of Sirsa district of Haryana, India using gamma ray spectrometry. *Environmental Earth Sciences*, 59, 1159–1164.
- Menon, R., Senthil Kumar, P., Koti Reddy, G., Srinivasan, R. (2003). Radiogenic Heat Production of lateArchaean Bundelkhand Granite and some Proterozoic Geniss and Granitoids of Central India. *CurrentScience* 85(5), 634-638.
- Morley, L.W. (1969). Regional geophysical mapping. In *Mining and Groundwater Geophysics 1967*, edited by L.W. Morley, Geological Survey of Canada, Economic Geology Report 26, 249-258.
- OECD-NEA, (1979). Exposure to radiation from natural radioactivity in building materials, Report by the Group of Experts of the OECD Nuclear Energy Agency, Paris.
- Papadopoulos, A., Christofides, G., Koroneos, A., Papadopoulou, L., Papastefanou, C. and Stoulos, S. (2013) Natural Radioactivity and Radiation Index of the Major Platonic Bodies in Greece. *Journal of Environmental Radioactivity*, 124, 227-238.
- Shirav (Schwartz), M., Vulkan, U., Margaliot, M., Shamaï, Y., Ne`eman, E., Brenner, S. (1998). Natural Terrestrial Dose-Rate Map of Israel 1:500,000. Geological Survey of Israel; Soreq- Nuclear Research Center, Israel.
- Shirav (Schwartz), M., Vulkan, U. (1997). Mapping radon-prone areas – a geophysical approach. *Environmental Geology*, 31(3/4), 167-173.
- Singh, S., Rani, A., Mahajan, R.K. (2005). ²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K analysis in soil samples from some areas of Punjab and Himachal Pradesh, India using gamma ray spectrometry. *Radiation Measurements*, 39(4), 431–439.
- Sonkawade, R.G., Kant, K., Muralithar, S., Kumar, R. and Ramola, R.C. (2008) Natural Radioactivity in Common Building Construction and Radiation Shielding Materials. *Atmospheric Environment*, 42, 2254-2259.
- Sulekha Rao, N., Sengupta, D., Guin, R., Saha, S.K. (2009). Natural radioactivity measurements in beach sand along southern coast of Orissa, eastern India. *Environmental Earth Sciences*, 59, 593–601.

- TAEK. (2010). Environmental radioactivity monitoring in Turkey. Technique Report, Ankara, s: 9–14
- UNSCEAR. (2000). United Nations scientific committee on the effects of atomic radiation, sources and biological effects of ionizing radiation. United Nations.
- Uyanık, N.A. (2011). Isparta alkali volkanitlerinin radyometrik ve manyetik yöntemlerle incelenmesi. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik ABD. s:138.
- Uyanık, N.A. (2022). Determination of the Radiological Risk and the Cancer Effect Caused by Geological Units and Samples from Afyon, Turkey. Pure and Applied Geophysics, 1295-1308.
- Uyanık, N.A., Akkurt, İ. (2009). Determination of Natural Radioactivity in Isparta-Çünür Hill Covered with Alkaline Volcanics. Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering, 9(2), 35–42.
- Uyanık, N. A., Akkurt, I., Uyanık, O. (2010). A ground radiometric study of uranium, thorium and potassium in Isparta, Turkey. Annals of Geophysics, 53(5–6), 25–30.
- Uyanık, N. A., Kurt, B., Uyanık, O. (2020). Determination of the hot dry rock from radiogenic heat production for potential geothermal sources and example of Isparta-Yakaören. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 26(6), 1170–1177.
- Uyanık, N. A., Öncü, Z., Uyanık, O., Akkurt, İ. (2015a). Determination of natural radioactivity from ^{232}Th with gamma ray spectrometer in Dereköy-Yazır (Southwestern Anatolia). Acta Physica Polonica A, 128(2-B), B441-442.
- Uyanık, N.A., Öncü, Z., Uyanık, O., Bozcu, M., Akkurt, I., Günoglu, K., Yagmurlu, F. (2015b). Distribution of natural radioactivity from ^{40}K radioelement in volcanics of Sandıklı-Suhut (Afyon) Area. Acta Physica Polonica A, 128(2-B), B438-440.
- Uyanık, N.A., Uyanık, O., Akkurt, İ. (2013a). Micro-zoning of natural radioactivity and seismic velocities of potential residential areas in volcanic fields: The case of Isparta (Turkey). Journal of Applied Geophysics, 98, 191–204.
- Uyanık, N. A., Uyanık, O., Gür, F., Aydın, İ. (2013b). Natural radioactivity of bricks and brick material in the Salihli-Turgutlu area of Turkey. Environmental Earth Sciences, 68(2), 499–506.
- Uyanık, N.A., Öncü, Z., Uyanık, O., Bozcu, M. (2022). Determination of alteration zones and geological unit limits using natural radioactivity properties of Sandıklı-Suhut areas. Journal of Applied Geophysics, 196. 104525.
- Xinwei, L. (2004). Natural radioactivity in some building materials and by-products of Shaanxi, China. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 262, 775–777.
- Xinwei, L., Xiaolan, Z. (2006). Measurement of natural radioactivity in sand samples collected from the Baoji Weihe Sands Park, China. Environmental Geology, 50, 977–982.
- Xinwei, L., Xiaolan, Z., Fengling, W. (2008). Natural radioactivity in sediment of Wei River, China. Environmental Geology, 53, 1475–1481.
- Yang, Y.X., Wu, X.M., Jiang, Z.Y., Wang, W.X., Lu, J.G., Lin, J., Wang, L.M., Hsia, Y.F. (2005). Radioactivity concentrations in soils of the Xiazhuang granite area, China. Applied Radiation and Isotopes, 63, 255–259.