
YER BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİĞİNDE İLERİ ARAŞTIRMALAR

Editör: Doç.Dr. Timur TEZEL

Yer Bilimleri ve Mühendisliğinde İleri Araştırmalar

Editör

Doç. Dr. Timur TEZEL

yaz
yayınları

2024

Yer Bilimleri ve Mühendisliğinde İleri Araştırmalar

Editör: Doç. Dr. Timur TEZEL

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-6171-62-6

Aralık 2024 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

info@yazyayinlari.com

İÇİNDEKİLER

Which Type of Curvature Parameter Should Be Used in Landslide Analysis?	1
<i>Seda ÇELLEK</i>	
Enerji Teknoloji Faaliyetlerinde Sismisitenin İzlenmesi	27
<i>Timur TEZEL</i>	
Kayaçların Ekonomik Önemi	52
<i>Hüseyin KURT, Gülin GENCOGLU KORKMAZ</i>	
Overview of Soil Investigation Applications on Parcel Basis In Basic Principles For Earthquake Resistant Construction in Turkey	86
<i>Emre Aytuğ ÖZSOY</i>	

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

WHICH TYPE OF CURVATURE PARAMETER SHOULD BE USED IN LANDSLIDE ANALYSIS?

Seda ÇELLEK¹

1. INTRODUCTION

Different terms can be used on the same object or subject among disciplines. The basis of confusion in the curvature parameter is that it is stuck between geology and geography. There is no clear definition of the subject, class intervals, or consensus on which program is more effective. In the literature review, it is seen that some studies interpret the parameter differently than others. In this study, the slope curvature parameter was investigated in detail, and its definitions in the literature were examined. Parameter, types, and classification were evaluated separately. This study constitutes the types of slope curvature in the literature were examined, and how they were used in the studies was investigated.

In landslide susceptibility studies, parameters such as general curvature, profile slope curvature, plan slope curvature, slope, height, and aspect are frequently used, considering they are of great importance. On the other hand, it is wrong to think that little-used parameters are unimportant in landslide formation.

Slope shape has long formed the basis of geomorphological assessments such as landslides, groundwater, and karstic studies. Slopes not only form a large part of the

¹ Dr. Öğretim Üyesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, sedacellek@ahievran.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9675-5691.

natural landscape but also provide an integral part of the drainage system and the delivery of water and sediment to the river.

In terminological terms, it is the curvature of linear elements obtained by cutting the topography in selected directions by any plane on the digital terrain model (Wilson and Gallant 2000). Slope curvature is also defined as the rate of land slope angle/gradient change or direction in a particular direction (Youssef, 2015).

The curvature represents the morphology of the slope and plays an influential role in determining the landslide types. The parameter is used to understand the behaviour of the physical characteristics of the surface and groundwater areas, the flow state, and the geotechnical properties of the unit forming the slope on the landslide behaviour (Elmacı *et al.*, 2017).

Taşkanat (2020); In his study, when he examined the most cited studies in the last ten years, he found that the most used parameter was the slope, followed by the curvature parameter. Again, when he evaluated the studies conducted in 2019 in his research, he determined that the most preferred parameter was curvature, followed by the slope, and used the curvature parameter in his study in this direction. In Çil (2009) and Hasekioğulları (2010) studies, 46 of the studies examined; Karamana (2019) stated that 80% of the articles they examined in their research, Çellek (2013) studies, 147 studies, and Süzen and Kaya (2011) stated that slope curvature was used as an input parameter in 35% of the studies they examined for their research. Among these researchers, Hasekioğulları (2010), Lee and Mi (2001), Komac (2006), Lee and Sambath (2006), Lee (2007), Yılmaz (2007) stated that this parameter was not preferred much by the researchers. According to Nefeslioglu *et*

al. (2008a), it is discussed whether the overall curvature affects the stability of the slope.

2. CURVATURE TYPES

It is possible to create six different curvatures (Plan curvature, profile curvature, tangential curvature, longitudinal curvature, cross-section curvature, and general curvature). The most used curvature parameters in the studies are; curvature and plan and profile curvatures that depend on the direction. Studies are using different curvature maps. In addition, some studies give different names to the same parameter class or use it differently. Summary definitions of the curvatures used in the studies are shown in Table 1.

Table 1. Curvature Types and Explanations

Curvature	Açıklama
Profil	Intersecting with the plan of z axis and aspect direction
Plan	Intersecting with the X, Y plan
Cross- Section	Intersecting with the plan of slope normal and perpendicular to aspect direction
Longitudinal	Intersecting with the plan of slope normal and aspect direction
Tangential	It is the curvature along the line perpendicular to the steepest slope line
General	General curvature = profile curvature + plan curvature

Source: (modified from Wood 1996)

The definitions in the table have been tried to be given as simple as possible. These definitions help us choose the most accurate curvature for the study area. So, which curvature should be chosen for the study area? While looking for the answer to this question, it should be emphasised which data about the study area is desired to be revealed. Getting

information with flow acceleration-deceleration or divergence and convergence forms the basis of using this parameter.

2.1. General Curvature

This parameter group is the most common parameter in the first landslide susceptibility studies. Although the parameter was called topographic curvature in the first uses, the expressions of slope curvature and slope shape were used in later studies. The names used recently for the parameter group are total, combo, combined, and standard curvature. The name suggested by the program used is general curvature. Although it is used with different names in studies, the definition is taken the same in all studies. In general curvature, the original surface of the top of the landslide is measured by drawing imaginary lines to reconstruct it before the landslide. The slope at the grid intersection points gives the profile curvature. The distance of the three closest contours to the intersection is determined, and the plan curvature is determined within 5 mm of this curvature (Aniye 1985). It is preferred in studies because it simultaneously includes both plan and profile curvature and represents the general surface curvature (Kayhan 2021).

In this group, positive (+) values indicate convex (peaks-peak), negative values (-) concave (valleys), and zero (0) indicate the flat surface or a saddle area (Wood 1996). Here, as the positive value increases, the convexity increases, and as the negative values decrease, the concavity increases. The greater the curvature, the more convex, and the smaller the curvature, the more concave the slope (Zhang et al. 2012; Ahmed et al. 2014). The majority of the literature has accepted marking as such.

Although the marking envisaged by the program is used in this way, there are also studies in the literature that accept the opposite marking. These studies suggested that positive values

indicate convex and negative values indicate concave areas, and values close to zero indicate flat areas. But this may be an entirely wrong approach.

In most studies, the general curvature map is used because it includes both plan and profiles curvature at the same time. For example, Günini (2019) used very sensitive class ranges in his study and determined their effects on landslide susceptibility by experimentation. She also experimented with the plan and profile curvature maps he produced; for the same reason, he used only the curvature map and saw that it gave more accurate results

2.2. Plan Curvature

Plan curvature is widely used in landslide susceptibility maps (Chen et al., 2016). There are many different naming and definitions in the literature about the parameter. Planform (Guo et al., 2015), planar, and contour (Ghobadi et al., 2017) are used with the exact definition. Unlike these, tangential curvature is also used in naming this group. The difference from other names is that tangential also have different uses. The tangential used here and those used in the program guide have different explanations. Plan curvature is the horizontal component that intersects the X and Y planes in the aspect direction (Ehsania and Malekiana, 2012). Other than this definition, the definitions made according to the names given vary.

Some studies use much more general expressions in the definition of the parameter. It describes how a slope, slope, or direction (aspect) changes (Wu et al., 2016; Zhang et al., 2017). More simply, it is the rate of change of slope orientation (aspect) (Wilson and Gallant 2000).

There are studies using much more contrasting definitions. It is also considered as the curvature perpendicular to the slope orientation or the maximum slope direction (Illia

and Tsangaratos 2016). With a different definition, it is the curvature perpendicular to the slope orientation in the horizontal direction (Eastman, 2006).

The name planar curvature, used in some studies, comes from the curvature on the horizontal plane (Alkhasawneh et al., 2013). It explains the horizontal shape of the topography in the study area (Ayalew and Yamagishi 2005; He et al., 2012). It is revealed by the intersection of the horizontal plane and the surface (Ghobadi et al., 2017).

Another definition given for this curvature is the rate of change of slope orientation along particular contours (Pourhasemi and Rossi 2017). More simply, it can be defined as the curvature of the slope parallel to the contours (Akıncı et al., 2010) or the curvature of the topographic contours (Ohlmacher, 2007). The gradient change along contour lines forms the planimetric component (Yanar, 2020) and shows the aspect ratio change along a contour (Aghdam et al., 2016).

The last definition given for this curvature expresses the tangent curvature to a contour (Hengl et al., 2003). This usage goes beyond other definitions. The tangential curvature already represents an existing class. The definition used here differs from the term used.

In plan curvature, streams and ridges can be extracted with negative and positive values (Akıncı et al., 2014; Akıncı and Kılıçoğlu 2015). In plan curvature, markings are the same as in general curvature. Negative (-) values in plan curvature represent concave surfaces, and positive (+) values represent convex (convex) surfaces (Ghobadi et al., 2017). Plan curvature shows convergence (where the flow is collected) and divergence (where the flow is dispersed) flow in the direction perpendicular to the flow direction (Kritikos and Davies 2014). In this way, soil water content and soil character are investigated. Revealing

these areas expresses the points at which water will converge in the flow state on the surface (Görüm, 2006). In plan curvature, along the curve, on downward, concave slopes, surface water will converge (where the flow is collected), while in convex waters, it will diverge (where the flow is dispersed) (Matebie et al., 2015). On the plane, it is close to zero (Hack and Goodlet 1960).

2.3. Profil Curvature

In literature, the term tangential curvature is also used (Taşoğlu, 2020). But the common usage is the shape of the curvature of the profile or section (Çil, 2009; Tekin, 2014; Elmacı, 2016; Kahya, 2019). It is the vertical junction in the aspect direction and intersects with the “z” plane (Ehsania and Malekiana, 2012). There are definitions as the curvature of a streamline formed by the intersection between a vertical plane and the ground surface (Aghdam *et al.*, 2016). More simply, it is the curvature perpendicular to the contours (Kumtepe *et al.*, 2009) or the curvature parallel to the slope orientation (Hasekioğulları, 2010; Alkeveli, 2015; Biçer, 2017; Biber, 2019). Finally, it is also defined as the curvature corresponding to a standard section tangent to a flow line (Chen *et al.*, 2014). Some explanations go beyond these definitions. Bolstad (2016) and Pourghasemi and Rossi (2017) define profile curvature as the curvature parallel in the direction of the steepest slope. Tekin (2014); defined this curvature as tangential curvature and said it is revealed by the intersection of the horizontal plane and the surface.

This curvature is the second derivative of the angle of inclination in the direction of maximum steepness; it reflects the rate of change of the slope angle and the complexity of the terrain (Saponaro *et al.*, 2015; Liu and Wu 2016). It also

determines the slope change rate downstream from a streamline (Aghdam *et al.*, 2016).

The opposite of plan and general curvature in profile curvature is in question. Negative (-) values represent convex surfaces, and positive (+) values represent concave surfaces (Raja *et al.*, 2017). Negative values indicate an increased slope and a toft (ridge) where wear may occur; positive values define the areas where the slope decreases and storage can occur (cavity) (Altural, 2012). Since laterally concaves represent negative values and laterally positive values represent concaves (Sidle and Ochiai 2006), upward orientation is expected while the opposite is negative (Hengl *et al.*, 2003; Meng *et al.*, 2016). More curvature means more moisture and instability (Guo *et al.*, 2015). Some studies indicate the opposite. This approach, while certainly flawed, is given because it has been used in the literature. If the profile component is negative, it indicates a concave-concave (cavity), and a positive value indicates a convex (hill) structure (Akıncı and Kılıçoğlu 2015).

Profile curvature is related to deposition and erosion and indicates the rate of erosion/deposition (negative values/positive values) (Alkhasawneh *et al.*, 2013; Kalantar *et al.*, 2020). For this reason, the mass flowing down the slope also controls the velocity (acceleration and deceleration) (Talebi *et al.*, 2007). Erosion is more prominent in convex (negative), and flat (0) areas, transition areas to concave (positive) curvature, and collapse occur in areas with convex surfaces (Bolstad, 2016). El-fengour *et al.* (2021) and Konstantopoulos *et al.* (2018), in their work, specifically used this curvature as they described different breaks in the slope.

2.4. Cross-Section Curvature

There are very few studies using this curvature. Some researchers give this name to the profile curvature just as a

name. However, this curvature is interpreted the same way as the plan curvature. This parameter is related to the convergence and divergence of the fluid (Alkhasawneh et al., 2013). Section curvature is used to detect concave features such as channels. It measures the curvature perpendicular to the downslope direction, intersecting the plane of the slope normal and perpendicular to the aspect direction (Wood, 1996; Ehsani and Malekiana 2012; Kalantar et al., 2020). In regions with zero slope (flat), the angle is undefined, and the maximum and minimum curvatures are used as alternative parameters. These parameters measure the maximum and minimum of all surface curvatures (Ehsania and Malekiana, 2012).

This curvature has convex areas (+), and concave areas are (-). It is the same as the plan and general curvature but the opposite of the profile curvature.

2.5. Tangential Curvature

There are two different expressions used to describe this curvature. While some studies define plan curvature as tangential (Yıldız, 2021), others use the tangential expression slope to express this curvature (Çil, 2009; Tekin, 2014; Elmacı, 2016; Günini, 2019). Tangential curvature was defined by Wilson and Gallant (2000). The value obtained by directly multiplying the plane (plan) slope shape value with the slope angle value is tangential curvature (Hugget and Cheesman 2002; Wilson and Gallant, 2000). Yılmaz (2007) is the value obtained by multiplying the slope shape value with the sine of the slope angle. In its simplest form, it is the curvature value obtained from the product of the slope Tangential curvature = Plan curvature x Slope Angle.

In this curvature, as in the plan curvature, it shows whether the flowing substances will converge or diverge when flowing over a point (Alkhasawneh et al., 2013). This curvature

defines the local flow components and the extent of their separation (Yılmaz, 2007; Delikanlı, 2010). Tangential curvature indicates the degree to which any given pixel is hydrologically surrounded by pixels fed either into or out of that pixel (Posner and Georgakakos 2015). Since tangential curvature does not take extremely large values on low slopes, it is more appropriate to use than plan curvature (Wilson and Gallant 2000; Eker, 2013). Although, Görüm (2006) and Çil (2009) claim that it is not a preferred method in studies, Mitsova and Hofierka (1993) suggested the concept and measurement of tangential curvature in their studies because it gave more accurate results (Eker, 2013).

In this curvature, it takes convex (+) and concave (-) values. The tangential curvature has the same marking as the plan, general, and cross curvature.

2.6. Longitudinal Curvature

The longitudinal curvature is the curvature that intersects the plane of the slope normal and the aspect direction and measures the curvature in the downward slope direction (Ehsani and Malekiana 2012; Kalantar et al., 2020). It is interpreted in the same way as the profile curvature. It gives information about the acceleration or deceleration of the fluid (Wood, 1996; Alkhasawneh et al., 2013). This curvature is not very common in the literature.

Concave (+) and convex (-) values are taken in this curvature. It has the same type of marking as the profile curvature.

2.7. Other Curvatures

There are different curvatures used in the literature. Although many people do not use these curvatures, they are used in studies a little. Apart from these, there are studies such

as terrain curvature used by very few researchers (Chiessi et al., 2016).

Differential Curvature; This curvature is obtained from the half-differences of the plan and profile slope curvatures (Florinsky, 1998). Plan and profile slope curvatures control sediment or surface waters' transport and accumulation mechanism. In this respect, the difference between the two curvatures (plan-profile) gives information about which accumulation erosion mechanism is more active at any point in the field. It can be produced with a simple query using the ArcGIS program (Görüm, 2006).

Downslope curvature; this curvature affects groundwater flow, as well as; erosion also affects sediment deposition and surface water flow movements (Konstantopoulos and Miliarexis 2018).

Upslope curvature; the interval from the mean weighted local curvature of the interference region cell's top is based on the multiple flow direction (Freeman, 1991; Konstantopoulos and Miliarexis, 2018).

In plan curvature, on concave surfaces, the flow converges, while on convex surfaces, the flow flows away from each other downwards. In profile, there is acceleration downhill on concave surfaces, while on convex surfaces, there is deceleration.

Areas that are convex downward and laterally are called the “dissipation zone.” The downward flow on these surfaces accelerates and moves away from each other. Areas that are laterally concave and downwardly convex are called “transit zones.” Downstream, the flow is accelerating and converging. The opposite zone is also called the “transit zone.” The flow slows down and diverges in these areas, which are laterally convex and downwardly concave. Finally, the lateral and top-

down concave-concave areas are called the “accumulation zone.” In these areas, the flow is slowing down but getting closer.

Among the 250 studies examined in the literature review, it was determined that 166 used plan curvature, 144 used profile curvature, 95 used general curvature, 8 used tangential curvature, and 3 used differential curvature. Again, among these studies, 119 used single curvature, 94 used 2, 35, 3, and 1 combined four curvatures. Plan and profile curvature mainly were used together. Studies using three curvatures preferred to use general curvature in addition to these.

3. RESULTS

Voids condense groundwater, and groundwater condensation will likely increase earth runoff activity. The cavities increase the concentration of concentrated groundwater and groundwater, possibly soil runoff activity (Matebie et al., 2015). Table 2 briefly shows what kind of curvature we can conduct research on landslides with. The table has been tried to summarise which curvature is trying to measure what is in the field.

In the studies, general, plan, and profile curvatures are used. The most significant factor in choosing general curvature is evaluating both plan and profile curvature. It more precisely represents the flow along a surface that includes both plan and profile curvature (Kritikos and Davies 2014). Apart from that, it is related to the convergence and divergence of water, such as the cross and tangent plan, and it gives more accurate results even with small slopes compared to the plan. On the other hand, long is related to the flow rate similarly to the profile and can give more accurate results than the profile when it comes to the slope.

Tablo 2. The Curvatures Used in The Studies and The Values Expressed in The Study

Curvature	Explanation
Profile	It is related to the flow rate (acceleration and deceleration) of the water.
Plan	It is related to the convergence and divergence of water.
Cross- Section	It is the same as the plan curvature. It gives more accurate results than plan curvature at certain angle values.
Longitudinal	Like profile curvature, it relates to the acceleration and deceleration of a fluid as it passes a point.
Tangential	As with the plan curvature, this value indicates whether the flowing substances will converge or diverge as they flow over a point. It is more useful in low slope curvature than plan.
General	Evaluates plan and profile curvatures simultaneously.

The convergent flow area generally shows high erosion and transport potential in plan curvatures, while the divergent flow shows low potential (Kritikos and Davies 2014). It is a key landslide conditioning factor that directly controls the water flow rate and thus erosion (Porgusemi and Kerle 2016; Ghobadi *et al.*, 2017). Ohlmacher (2007) stated that as the plan curvature decreases, the landslide susceptibility will decrease. He also argued that such curvatures are more dangerous for landslides in areas with clay soils.

The profile curvature is effective in erosion and soil deposition by affecting the flow rate of the drainage areas at the surface. This curvature expresses the rate of change of slope, the flow rate of water at the surface, the transport of sediments along the slope, and thus the erosion that develops. Profile curvature affects driving and resistance stresses in a landslide

motion direction (Matebie *et al.*, 2015). This value affects the flow rate and deceleration. This causes it to be influential in forming landslides (Şahin, 2017).

4. DISCUSSION

Not every curvature can be used on every slope. For example, tangential curvature does not take tremendous values at low slope values, so it is more appropriate than plan curvature (Wilson and Gallant). Mitasove and Hofierka (1993) and Nefeslioğlu (2008) emphasise that the plan curvature values get very high values at low slope angles, suggesting tangential curvature, another curvature value, as an alternative to planning curvature in flow convergence and divergence studies. There are differences in the definitions of curvatures, which causes errors in classification. For example, the tangential curvature is tangential, but it is an incorrect expression; it is a different tangent used in Turkish. The definition with the most mistakes in the literature is Plan Curvature. Studies and lecture notes use the tangential expression for this curvature. In this way, there are errors in the markings again.

Taşoğlu (2020), in his study, said that the profile curvature is tangential, and he also took the concave as positive and the concave as negative. This marking is correct for profile curvature but incorrect for tangential. There is confusion between concepts here. Yıldız (2021), on the other hand, defined plan curvature as tangential.

Some of the studies express the “+” and “-” signs of the plan and profile as the opposite, making a joint evaluation for both. Some use the same definitions for both positive and negative values. Plan and profile curves have a range of positive and negative values and reflect a different definition in each of these indices. The positive and negative values of the planar

curvature represent convexity (flow differentiation) and parity (flow convergence), respectively. In contrast, positive and negative values in the profile curvature represent simultaneity (reducing flow rate) and convexity (increasing flow rate), respectively (Jenness, 2010). Values close to zero represent neutral curvature in both cases (Kornejady et al., 2017b).

Posner and Georgakakos (2015) detected landslides in both positive and negative directions in the tangential and profile curvatures. Still, they determined that landslides occurred mainly on negative slopes, and fewer occurred on the positive side. In some studies, it is concluded that whatever curvature is used, it is ineffective. In the study of Şahin (2017), profile curvature, plan curvature, and curvature factors were determined to have the lowest effect on landslide susceptibility. More than one curvature value was produced in some studies, and only the selected ones were evaluated. For example, Nefeslioğlu (2008), only profile and plan slope curvatures were calculated within the scope of the thesis study, and the tangential curvature value was not evaluated within the scope of the study. Although Başara (2021) prepared three models for the curvature parameter in his study, he found close values for the subclasses. He saw that the parameter was not suitable for the study area. Altural (2012) used the plan curvature in the study area and stated that the high landslide susceptibility on concave and convex slopes indicates landslides occur on both valleys and ridges. Ohlmacher (2007) used the plan curvature in her study but stated that the soil flows observed in the field studies could occur in any area without considering this curvature. Dağdelenler's (2013) plan and profile slope curvature parameters were not included in the logistic regression equation for three random samples from the landslide mass. When the beta coefficients of the parameters in the three random samples are examined, it is seen that there is no change between the different samples.

There is no consensus among the existing curvature types in the literature. The curvatures given according to the most frequently used program are; curvilinear, plan, profile, tangential, combined (combo), longitudinal (longitude), and are evaluated in 6 classes as cross-sectional (Taşkanat, 2020). For example, most studies assessing plans and profiles in two ways (Yanar, 2020; Taşkanat, 2020; Başara, 2021). Some studies are; used three classes plan, profile, and tangential (Wilson and Gallant 2000). Others used three classes, plan curvature, profile curvature, and general curvature, a combination of both (Ohlmacher, 2007; Kayhan, 2021).

5. REFERENCES

- Aghdam IN, Varzandeh, MHM, Pradhan B (2016) Landslide susceptibility mapping using an ensemble statistical index (Wi) and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) model at Alborz Mountains (Iran). *Environ Earth Sci* 75:553, 1-20. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-5233-6>
- Ahmed MF, Rogers JD, Ismail EH (2014) A regional level preliminary landslide susceptibility study of the upper Indus river basin. *European Journal of Remote Sensing* 47:1, 343-373. <https://doi.org/10.5721/EuJRS20144721>
- Akıncı H, Kılıçoğlu C (2015) Production of landslide susceptibility map of Atakum (Samsun) district. *National Symposium on Engineering Geology (MÜHJEO'2015)* 3-5, Turkey (in Turkish).
- Akıncı H, Doğan S, Kılıçoğlu C, Keçeci S.B (2010) Production of landslide susceptibility map of Samsun province center. *Electronic Journal of Map Technologies* 2:3, 13–27 (in Turkish).
- Akıncı H, Özalp AY, Özalp M, Kılıçer ST, Kılıçoğlu C, Erevan E (2014) Production of landslide susceptibility maps using bayesian probability theorem. 5. *Remote Sensing-GIS Symposium, Turkey* (in Turkish).
- Alkeveli T (2015) An investigation on the use of sampling strategies and some decision tree algorithms in production of landslide susceptibility maps. *Doctorate Thesis Hacettepe University, Turkey*.
- Alkhasawneh MS, Ngah UK, Tay LT, Isa NAM, Al-batah MS (2013) Determination of important topographic factors for landslide mapping analysis using MLP Network. *Scientific World Journal*.

- Altural T (2012) Landslide susceptibility assessment of vicinity of Akşehir (Konya) using geographic information systems. Selçuk University Master Thesis, Turkey (in Turkish).
- Aniya M (1985) Landslide-susceptibility mapping in Amahata River Basin, Japan. Annals of the Association of American Geographers 102-114.
- Ayalew L, Yamagishi H (2005) The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. Geomorphology 65: 15-31.
- Başara AC (2021) production of landslide susceptibility maps by statistical methods and investigation of spatial susceptibility. Doctorate Thesis Ondokuz Mayıs University, Turkey (in Turkish).
- Biber TC (2019) Comparison of the methods used to produce landslide susceptibility maps: instance of Şebinkarahisar district. Doctorate Thesis Karadeniz Teknik University, Turkey (in Turkish).
- Biçer ST (2017) A semi-quantitative evaluation of landslide risk mapping. Doctorate Thesis Hacettepe University, Turkey (in Turkish).
- Bolstad P (2016) GIS fundamentals: a first text on geographic information systems (5b). Minnesota: Eider Press.
- Chen W, Li WP, Hou EK, Zhao Z, Deng ND, Bai, HY, Wang DZ (2014) Landslide susceptibility mapping based on GIS and information value model for the Chencang District of Baoji, China. Arab. J. Geosci 7:4499–4511.

- Chiessi V, Toti S, Vitale V (2016) Landslide susceptibility assessment using conditional analysis and rare events logistics regression: a case-study in the Antrodoco Area (Rieti, Italy). *Journal of Geoscience and Environment Protection* 04:12, 1-21.
- Çellek S (2013) Landslide susceptibility analysis of Sinop-Gerze region. Doctorate Thesis Karadeniz Teknik University, Turkey (in Turkish).
- Çil E (2009) Gis based landslide hazard assessment of the Erdemli (Mersin) region. Çukurova University, Turkey (in Turkish).
- Dağdelenler G (2013) Assessment of sampling and validation strategies in production of landslide susceptibility maps (eastern part of Gallipoli Peninsula). Doctorate Thesis Hacettepe University, Turkey (in Turkish).
- Delikan M (2010) Landslide susceptibility assessment of vicinity of Yaka (Gelendost Isparta) using geographic information systems. Doctorate Thesis Selçuk University, Turkey (in Turkish).
- Eastman (2006) IDRISI Andes Guide to GIS and Image Processing. Clark Labs Clark University, USA.
- Ehsani A, Malekian A (2012) Landforms identification using neural network-self organizing map and SRTM data. *Desert* 16:111–122.
- Eker R (2013) Mapping landslide susceptibility using geographical information systems and its evaluation for forest roads in the Yığılca forest directorate. Master Thesis, Duzce University Turkey (in Turkish).

- El-fengour A, Riskam CB, El motaki H, Garcia JH (2020) Landslide susceptibility assessment based on information value model in Amzaz Watershed in Northern Morocco. *Physis Terrae* 2:2, 3-19.
- Elmacı H (2016) Gis based sensivity analysis of area between Çubuk, Kalecik counties of Ankara province and Şabanözü counties Çankırı. Master Thesis, Gazi University, Turkey (in Turkish).
- Elmacı H, Tekin S, Ünsal N (2017) Geographical information systems based using logistic regression landslide susceptibility assessment of the çubuk-kalecik (Ankara) between Şabanözü (Çankırı) region. *The Bulletin of Mineral Research and Exploration*. 155:155, 175–186. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.306692>
- Florinsky VI (1998) Derivation of topographic variables from a digital elevation model given by a spheroidal trapezoidal grid. *Int. J. Geographical Information Science* 12:8, 829-852.
- Freeman GT (1991) Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid. *Computers and Geosciences* 17:413-422. 90048-I.
- Ghobadi MH, Nouri M, Saedi B, Jalali SH, Pirouzinajad N (2017) The Performance evaluation of information value, density area, LNRF, and frequency ratio methods for landslide zonation at Miandarband Area, Kermanshah province, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 10: 430. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3202-y>
- Görüm T (2006) Landslide susceptibility analysis with geographic information systems and statistical methods: Melen Gorge and near vicinity. Master Thesis İstanbul University, Turkey (in Turkish).

- Guo C, Montgomery DR, Zhang Y, Wang K, Yang Z (2015) Quantitative assessment of landslide susceptibility along the Xianshuihe fault zone, Tibetan Plateau, China. *Geomorphology* 248:93-110. doi:[10.1016/j.geomorph.2015.07.012](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.07.012).
- Günini NÜ (2019) Assessment of landslide susceptibility in Van province using logistic regression analysis and frequency ratio method. Master Thesis Ondokuz Mayıs University, Turkey (in Turkish).
- Hack JT, Goodlett JC (1960) Geomorphology and forest ecology of a mountain region in the central Appalachians. United States Geological Survey, Professional Paper 347:66.
- Hasekioğulları GC (2010) Assessment of parameter effects in producing landslide susceptibility maps. Master Thesis Hacettepe University, Turkey (in Turkish).
- He S, Pan P, Dai L, Wang H, Liu J (2012) Application of kernel-based Fisher discriminant analysis to map landslide susceptibility in the Qinggan River delta, Three Gorges, China. *Geomorph* 171–172:30–41. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.04.024>.
- Hengl T, Gruber S, Shrestha DP (2003) Digital terrain model analysis in ILWIS, ITC, The Netherlands.
- Huggett R, Cheesman J (2002) Topography and the environment. Pearson Education Limited, Harlow, United Kingdom.
- Ilia I, Tsangaratos P (2016) Applying weight of evidence method and sensitivity analysis to produce a landslide susceptibility map. *Landslides*, 379-397.

- Jenness J (2010) Surface area and ratio for ArcGIS (surface_area.exe)v.1.0.138. Jenness Enterprises. http://www.jennessent.com/arcgis/surface_area.htm adresinden alındı.
- Kahya F (2019) Investigation of the Rize central district and surroundings in terms of landslide susceptibility. Recep Tayyip Erdoğan University Master Thesis, Turkey (in Turkish).
- Kalantar B, Ueda N, Saeidi V, Ahmadi K, Halin AA, Shabani F (2020). Landslide susceptibility mapping: machine and ensemble learning based on remote sensing big data. Remote Sensing 12:11-1737. DOI: [10.3390/rs12111737](https://doi.org/10.3390/rs12111737)
- Karaman MO (2019) Landslide susceptibility mapping of Karaburun Peninsula with geographic information systems. Master Thesis Eskişehir Teknik University, Turkey (in Turkish).
- Kayhan H (2021) Landslide susceptibility mapping of the Izmir metropolitan area. Master Thesis Dokuz Eylül University, Turkey (in Turkish).
- Komac M (2006) A Landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in Perialpine Slovenia. *Geological Survey of Slovenia* 74:17-28.
- Konstantopoulos KA, Miliareisis GC (2018) Unsupervised landslide risk dependent terrain segmentation on the basis of historical landslide data and geomorphometrical indicators. *SDRP Journal of Earth Sciences & Environmental Studies* 3:2.

- Kornejady A, Ownegh M, Rahmati O, Bahremand A (2017b) Landslide susceptibility assessment using three bivariate models considering the new topohydrological factor: HAND. *Geocarto Int* 1155–1185.
- Kritikos T, Davies T (2014) Assessment of rainfall-generated shallow landslide/debris-flow susceptibility and runout using a GIS-based approach: Application to western Southern Alps of New Zealand. *Landslides*, 12:6, 1051-1075. doi.org/10.1007/s10346-014-0533-6
- Kumtepe P, Nurlu Y, Cengiz T, Sütcü E (2009). Landslide susceptibility analysis of vicinities of Bolu. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, Turkey (in Turkish).
- Lee S (2007) Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping. *Environmental Geology* 52:615-623.
- Lee S, Min K (2001) Statistical Analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea *Environ. Geol.* 40:1095–1113.
- Lee S, Sambath T (2006) Landslide Susceptibility mapping in the Damrei Romel Area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models. *Environ Geol.* 50:847–855.186.
- Liu S, Wu Y (2016) Landslide susceptibility mapping in the Gangu County, China using artificial neural network and Gis. *Bund* 7614-7628.
- Matebie M, Bhandary NP, Ryuichi Y (2015) GIS- based Frequency Ratio and logistic Regression Modelling for Landslide Susceptibility Mapping of Debre Sina Area in Central Ethiopia. *J. Mt. Sci.* 12:6, 1355–1372.

- Meng X, Pei X, Liu Q, Zhang X, Hu Y (2016) GIS based environmental assessment from three aspects of geology, ecology and society along the road from Dujiangyan to Wenchuan, Mt Res 110–120.
- Mitasova H, Hofierka J (1993) Interpolation by regularized spline with tension : II. Application to terrain modeling and surface geometry analysis. Mathematical Geology 25:657-669.
- Nefeslioğlu HA (2008) Production of earthflow hazard maps (Büyükköy catchment, Çayeli, Rize). Doctorate Thesis Hacettepe University, Turkey.
- Nefeslioğlu HA, Duman TY, Durmaz S (2008a) Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey). Geomorphology 94:3–4, 401–418.
- Ohlmacher GC (2007) Plan curvature and landslide probability in regions dominated by earth flows and earth slides. Engineering Geology 91:117–134.
- Pourghasemi HR, Kerle N (2016) Random forests and evidential belief function-based landslide susceptibility assessment in Western Mazandaran province, Iran. Environmental Earth Sciences 185.
- Posner AJ, Georgakakos KP (2015) Normalized landslide index method for susceptibility map development in El Salvador. Natural Hazards, 79:1825–1845.
- Pourghasemi HR, Rossi M (2017) Landslide susceptibility modeling in a landslide prone area in Mazandarn Province, north of Iran: A comparison between GLM, GAM, MARS, and M-AHP methods. Theor Appl Climatol 609–633.

- Raja NB, Çiçek I, Türkoğlu N, Aydın O, Kawasaki A (2017) Landslide susceptibility mapping of the Sera River Basin using logistic regression model. *Natural Hazards* 1323-1346.
- Saponaro A, Pilz M, Wieland M, Bindi D, Moldobekov B, Parolai S (2015). Landslide susceptibility analysis in data-scarce regions: the case of Kyrgyzstan. *Bulletin of Engineering Geology and Environment* 74:1117–1136.
- Sidle R, Ochiai H (2006). *Landslides: Processes, prediction, and land use*. Published under the aegis of the AGU Books Board DOI: [10.1029/WM018](https://doi.org/10.1029/WM018)
- Şahin EK (2017) Determination of effective factors using feature selection algorithms and production of landslide susceptibility maps. Doctorate Thesis İstanbul Teknik University, Turkey (in Turkish).
- Talebi A, Uijlenhoet R, Troch PA (2007) Soil moisture storage and hillslope stability. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 7:523–534
- Taşkanat T (2020) Production of landslide susceptibility maps using evolutionary algorithms. Doctorate Thesis Erciyes University, Turkey (in Turkish).
- Tekin S (2014) Gis based landslide susceptibility assessment of the Kadirli - Aslantaş (Osmaniye) region. Master Thesis Çukurova University, Turkey (in Turkish).
- Wilson JP, Gallant JC (2000) *Digital terrain analysis, Chapter 1. Terrain analysis: Principles and applications*. New York, 1-27.
- Wood JD (1996) The geomorphological characterisation of digital elevation model [Ph.D. thesis], University of Leicester, Leicester, UK, <http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/phd/>

- Wu Y, Li W, Liu P, Bai H, Wang Q, He J, Liu Y, Sun S (2016) Application of analytic hierarchy process model for landslide susceptibility mapping in the Gangu County, Gansu Province, China. *Environ Earth Sci* 422.
- Yanar T (2020). Multi-hazard susceptibility map production for urban planning purposes: Ankara Mamak case. Master Thesis Hacettepe University, Turkey.
- Yıldız A (2021).Landslide susceptibility assessment of the Germencik-İncirlioğlu (Aydın) region. Master Thesis Çukurova University, Turkey (in Turkish).
- Yılmaz Ç (2007).Gis-based landslide susceptibility mapping in devrek (Zonguldak – Turkey). Master Thesis Orta Doğu Teknik University, Turkey.
- Youssef AM, Al-Kathery M, Pradhan B (2015) Landslide susceptibility mapping at Al-Hasher Area, Jizan (Saudi Arabia) using GIS-based frequency ratio and index of entropy models. *Geosciences Journal*, 19:1, 113-134.
- Zhang CJ, Cui P, Ge Y, Xiang L (2012) Susceptibility and Risk Assessment of Earthquake-Induced Landslides Based on Landslide Response Units in The Subao River Basin. *Environ Earth Sci* 65:1037–1047.
- Zhang K, Wu X, Niu R, Yang K, Zhao L (2017). The assessment of landslide susceptibility mapping using random forest and decision tree methods in the Three Gorges Reservoir area, China. *Environ Earth Sci* 76:405.

ENERJİ TEKNOLOJİ FAALİYETLERİNDE SİSMİSİTENİN İZLENMESİ

Timur TEZEL¹

1. GİRİŞ

İnsan kaynaklı depremler jeotermal, petrol ve gaz, su, madencilik ve atık bertarafı gibi birçok sektörü etkileyen en önemli konulardan biridir. Mevcut araştırmaların yönelimi, uyarılmış depremlerin izlenmesi tekniklerinin geliştirilmesi, fiziksel mekanizmaların anlaşılması, oluşabilecek en büyük depremin büyüklüğünün tahmini, risk azaltılması ve etkilerinin paydaş görüşleri ile değerlendirilmesi doğrultusunda gelişmesi günümüzün zorunluluklarından. İnsan kaynaklı depremlerin geçmişi, insanların madencilik gibi mühendislik çalışmalarına kadar uzanmaktadır. Bu nedenle geleneksel olarak uyarılmış depremler ilerlemenin kaçınılmaz bir tehlikesi olarak görülmüştür. Bu türlü depremlerin mekanizmalarını anlamak ve yönetebilmek amacıyla gerekli yöntemleri geliştirmek önemli zorluklardır. Uyarılmış depremlerin iyi yönetilememesi özellikle gelişmenin temeli ve yeşil enerjiye geçişi oluşturabilecek enerji projelerinin gelişimini ve çalıştırılmasını engelleyebilir.

1920'lerden bu yana bilim insanları, yeraltına sıvı pompalamanın sismik olaylara yol açma potansiyeline sahip olduğunu biliyor. İnsan faaliyetlerine atfedilen sismik olaylar “uyarılmış sismik olaylar” olarak adlandırılır. Son yıllarda Arkansas, Ohio ve Teksas'ta meydana gelen bir dizi küçük sismik olay, petrol, gaz üretimi ve atık su bertarafı ile ilgilidir.

¹ Doç.Dr., Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, timurtezel@yahoo.com, ORCID: 0000-0001-9927-6557.

Bu sismik olaylar can kaybına yol açmadığı gibi büyük yapısal hasarlara da neden olmamasına rağmen, etkileri yerel halk tarafından hissedilmiş ve uyarılmış depremler konusu kamuoyunun gündemine taşınmıştır. 1960'lerden bu yana yeraltına sıvı pompalamanın durdurulmasının uyarılmış depremlerin durması anlamına gelmediği de bilinmektedir. Örneğin 2006 ve 2008 yılları arasında İsviçre'nin Basel kentinde meydana gelen depremler jeotermal enerji gelişimiyle ilgili olup, 3 (Mw) büyüklüğündeki birçok deprem meydana gelmiştir. Yine 1967 Denver, Colorado (Mw-4.8) depremi derin kuyu enjeksiyonu bitiminden bir yıl sonra meydana gelmiştir. Bu çalışmaların pek çoğu gerilim ve ısının büyük ölçekte değişebildiği aktif tektonik bölgelerde yer almakta olup, gerilimin yüksek olduğu fay zonlarındaki faaliyetler uyarılmış olayların meydana gelme olasılığını artırmaktadır (Buijze vd., 2019).

Birçok proje uyarılmış sismisite sorunlarıyla karşılaşmıştır. Yakın zamanda Kore'nin Pohang şehri yakınlarındaki Geliştirilmiş Jeotermal Sahada (EGS) Mw 5.5 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiş, yaygın hasara ve 135 kişinin yaralanmasına neden olmuştur (Kim vd., 2018a; Ge vd., 2019). Pohang depremi, yüksek gerilimli faylar üzerindeki büyük depremlerin, akışkan enjeksiyonu önemli gerilme değişimi uygulamasa bile tetiklenebileceği fikrini desteklemektedir. Hasar verici deprem riskini azaltmak için bu tür potansiyel olarak tehlikeli fayları önceden dikkatle gözlemlenmelidir. Gözenek sıvısı basıncı, sıcaklık değişimleri ve termoelastik gerilme gibi faktörler jeotermal sistemlerde önemli bir rol oynamaktadır. Jeotermal sıvının üretimi ve yeniden enjeksiyonu nedeniyle basınç değişiklikleri meydana gelebilir. Aynı zamanda akışkan nedeniyle bir fay üzerindeki basınç artışı, normal gerilmeyi azaltır ve fayı kırılmaya daha açık hale getirir. Rezervuar hazne kayacı ile yeniden enjekte edilen su arasındaki

sıcaklık farkı, Geysers'de olduğu gibi 200 °C'yi aşabilir. Rezervuar ile (yeniden) enjekte edilen akışkanlar arasındaki sıcaklık farkı, sistemdeki kaya kütlelerinin önemli bir kısmının erimesine neden olabilir (Shapiro ve Dinske, 2009; Willems vd., 2017). Akışkan enjeksiyonu, önceden var olan fay ve kırıklardan oluşan bir ağı harekete geçirebilir. Enjeksiyon kaynaklı sismisitenin kontrol edilmesi, gelişmiş jeotermal enerji projelerinin kamuoyu tarafından kabul edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Kwiatek vd., 2019). Kabuğun kritik derecede gerildiği bölgelerde, gerilmedeki küçük değişiklikler fay kaymasını tetikleyerek depremlere neden olabilir (Lim vd., 2020).

En büyük problem, sıvı enjeksiyonunun neden olduğu depremlerin boyutunun tahmin edilmesi ve kontrol edilmesidir. Endüstriyel enerji teknolojilerinin uygulanmasından kaynaklanan hasar verici depremlerin sayısının artması, ilgili riskleri etkili bir şekilde değerlendirmek, iletmek ve yönetmek için standart bir plana ihtiyaç olduğunu göstermektedir (Ellsworth, 2013; Grigoli vd., 2017; Gupta ve Baker, 2019; Keranen ve Weingarten, 2018; Langenbruch vd., 2018; Peterson vd., 2018). Bu amaçla gerçek zamanlıya yakın sismik izlemeyi ve ardından enjeksiyon stratejilerini benimsemeyi birleştiren bir tekniğin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu tür hızlı tepki veren trafik ışığı sistemlerinin optimize edilmesi, kentsel alanlarda bile jeotermal rezervuarların güvenli bir şekilde geliştirilmesinin anahtarı olabilir. Bu, jeotermal enerjinin, devam eden enerji dönüşümünün uygulanmasında yenilenebilir enerjilerin gelişimine değerli ve ekonomik bir katkı olarak yardımcı olabilir.

Farklı enerji teknolojilerinde uyarılmış depremlerin olasılığını ve büyüklüğünü farklı enjeksiyon hızları ve basınçları, sıvı hacimleri ve enjeksiyon süreleri gibi faktörler etkilemektedir. Jeotermal enerji, yeraltındaki ısının bir enerji kaynağı olarak kullanılmasıdır. Üç farklı jeotermal enerji

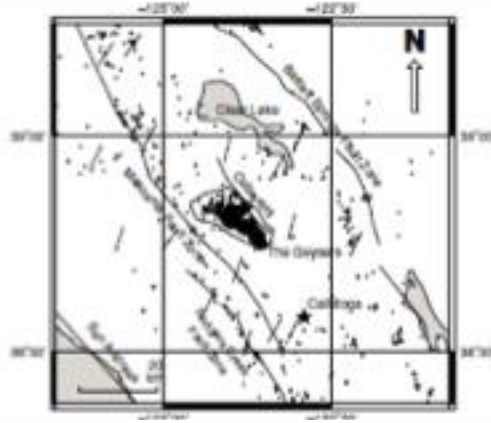
kaynağı türü vardır. Buharın sıcak kayanın gözeneklerinde veya kırıklarında bulunduğu buhar ağırlıklı, sıcak suyun kayada bulunduğu sıvı ağırlıklı ve suyun sıcak kaya ortamına enjekte edilmek suretiyle ısıtılıp, çekilmesi ile kullanılması şeklindedir. Her üç süreçte de enerji üretimi için kullanılan sıvı hacimleri tekrar enjekte edilen sıvı ile rezervuar basıncını dengeli tutmayı amaçlamaktadır. Buhar ağırlıklı bir jeotermal sistem olan Geysers (Amerika Birleşik Devletleri-ABD) jeotermal buhar sahasında, enjekte edilen sıvı ile kaynak arasındaki sıcaklık farkının olması kayaçlarda soğumaya ve gözenek basıncında artan bir değişime neden olması ile yerel gerilme değişimleri uyarılmış sismik olayları meydana getirmektedir. Geleneksel petrol ve gaz geliştirme projelerinde yeraltı rezervuarlarındaki kayaç gözenek boşluklarında bulunan petrol, gaz ve su çıkarılır. Kuyu sondajları vasıtası ile rezervuardaki petrol pompalama ile çıkarılmaya çalışılırken, rezervuardaki basıncın azalması nedeni ile gözeneklerde kalan petrol ve gazın çıkarılması için ikincil ve üçüncül geri kazanım teknikleri uygulanır. Bu türlü ikincil ve üçüncül geri kazanım yöntemleri yer içine enjeksiyon yolu ile çatlatma yaratarak malzemeyi çekmeye çalışırken uyarılmış depremler oluşturabilmektedir. Jeotermal, petrol ve gaz üretim faaliyetlerinde kullanılmış kirli su, derin atık su bertaraf kuyuları kullanılarak tekrar yeraltına enjekte edilerek uzaklaştırılmaktadır ki bu faaliyetlerde uyarılmış sismik olaylara neden olabilmektedir. Son zamanlarda genişçe uygulanmaya başlanan “Karbon yakalama ve depolama (CSS)” sahalarında karbondioksit yeraltına depolanmaktadır. Bu sahalarda yapılan işlem nedeni ile yeraltı kayaç gözenek basıncındaki değişimlerinde sismik olaylara neden olabileceği dikkate alınmalıdır.

Sismolojik yöntemler, endüstriyel saha operasyonlarında (örneğin, petrol çıkarma ve enjeksiyon desteği, jeotermal sıvı üretimi, kaya gazı kırma ve daha fazlası) kullanılarak uyarılmış

sismisite ile Dünya'nın fiziksel özelliklerindeki değişim arasındaki ilişkiyi anlamak için kullanılmaktadır. Pasif sismolojik izleme yöntemleri Dünya'nın insan eliyle yaratılan sığ yeraltı (yaklaşık 6 km'ye kadar) hidrolojik koşullarına verdiği tepkinin daha iyi anlaşılması konusunda yardımcı olduğu gibi yeraltı çevresel etkilerini de en aza indirmek için endüstriyel operasyonlarda kullanılmaktadır. Bu çalışma endüstriyel faaliyetlerden birisi olan jeotermal alanlarda uygulanmakta olan pasif sismolojik yöntemler ve uygulamaları hakkında bilgi verecektir. Değerlendirilecek sismolojik izleme ve araştırma teknikleri ile uyarılan deprem oranları, yerleri, büyüklükleri ve sismik enerjinin gelişimi gibi bazı fiziksel parametreler belirlenebilirken bunların kullanılması ile geliştirilebilecek uyarı sistemleri özellikle jeotermal kaynaklı / çatlatma kaynaklı sismisitenin olumsuz sosyoekonomik etkilerini önleme konusunda etkinliğine yer verilecektir. Mevcut enerji krizi göz önüne alındığında, sürdürülebilir jeoenerji kaynaklarının sayısını artırmak için mevcut ve gelecekteki zorlukları ele almak, bilgi ve yöntemleri jeotermal endüstrisinin büyümesi için hizmetlere dönüştürmek için öneriler yer alacaktır. Sismisiteyi tetikleyebilecek en önemli antropojenik faaliyetler arasında petrol üretimi, atık su bertarafı, hidrolik çatlatma, rezervuar dolgusu, jeotermal operasyonlar, madencilik ve nükleer testler yer almaktadır. Jeotermal enerji, binaların, endüstriyel alanların ve seraların ısıtılması için gaza uygun bir alternatiftir ve bu nedenle dünyada sürdürülebilir enerjiye geçişte önemli bir rol oynayabilir. Özellikle jeotermal projelerdeki artışla birlikte, bu projelerle ilişkili potansiyel tehlikelerin değerlendirilmesi önemlidir. Bu potansiyel tehlikelerden biri, altyapıya ve konutlara potansiyel olarak zarar verebilecek ve kamu desteğini etkileyebilecek sismik olayların meydana gelme olasılığıdır. Bu tür olaylar dünyadaki birçok jeotermal sistemde gözlemlenmiştir.

İyi tasarlanmış sismik gözlem ağları ile jeotermal alanlardaki depremsellik izlenirse, ortamın yapısı ve fiziksel parametrelerinin ayrıntılarını ve üretimin neden olduğu bu parametrelerdeki değişiklikleri ortaya çıkarabilir. Depremler, rezervuarları ve potansiyelleri incelemek için son derece yararlıdır. Depremlerin yerinin doğru tespit edilmesi, enjekte edilen sıvıların nereden aktığını ve geçirgenliğin nerede arttığını ortaya çıkarabilir. Deprem kaynak mekanizmalarının hesaplanması, yaratılan ve aktive edilen yeni çatlakların ve fayların doğasını ortaya çıkarabilir. 4 Boyutlu (4-B) sismik tomografi uygulaması ile rezervuar yapısının yürütülen üretim faaliyetine yanıt olarak gelişip gelişmediğini ve nasıl geliştiğini de ortaya çıkarabilir. Ayrıca, mikrosismik aktivitenin gözlemlenmesi, bir üretim sahasının çevresinde yaşayan insanları, herhangi bir operasyonun neden olduğu sismik aktivite ve tektonik yapılar üzerindeki etkinin nasıl olduğu hakkında bilgilendirmek için yararlıdır.

Bu çalışmada, mikrosismik olayların kuyudan jeotermal rezervuara su enjeksiyonu ile ilişkisinin ortaya konulabilmesi amacı ile ABD'nin Kaliforniya eyaletindeki Geysers Jeotermal Sahası seçilmiştir. Kaliforniya'daki Geysers jeotermal sahası 1960 yılından beri bölgenin ana elektrik enerjisi tedarikçisidir (Barker vd., 1992). Geysers, kuzey San Andreas fay sisteminin kuzeybatı eğilimli birkaç sağ yanal doğrultu atımlı fayı arasında yer almaktadır (Şekil 1). Bölgedeki sağ yanal doğrultu atımlı faylanmaya ek olarak sık volkanizma da mevcuttur (Stanley vd., 1998).



Şekil 1. Geysers jeotermal alanı jeolojisi (Boyle et al., 2014)

Geysers bölgesinin jeolojisi çoğunlukla metamorfize olmuş denizel tortul ve Franciscan topluluğuna ait magmatik kayalardan oluşmaktadır. Rezervuar, kuzeydoğuda Collayomi fay zone ve güneybatıda Mercuryville fay zone ile sınırlanmaktadır (Şekil 1). Çatlaklı metagraywacke ve altta yatan bir felsit batolit içinde yer almaktadır. Felsit barındıran alterasyon ve kısmen hidrotermal breş tarafından kontrol edilen damar mineralizasyonu, buhar rezervuarı içindeki geçirgenliği ve kırık yoğunluğunu artırır (Gunasekera vd., 2003). Kuzey Kaliforniya'daki Geysers jeotermal rezervuarı, yaklaşık 1,6 GW kurulu elektrik kapasitesi ve yaklaşık 850 MW'lık mevcut üretimi ile dünyanın en büyük jeotermal rezervuarıdır. Geysers'deki faaliyetler 1960'larda başlamış ve rezervuardaki buhar basıncını artırmak için 1970'lerin başından beri yağmur ve yakındaki dere suyunun yeniden enjeksiyonunu içermiştir. Bu operasyonlar son yıllarda, jeotermal kaynağın üretimini sürdürmek için yakındaki topluluklardan arıtılmış atık su enjeksiyonu ile desteklenmiştir. Lake County'den günde 22 milyon L su sağlayan 46 km uzunluğunda bir boru hattı olan Güneydoğu Geysers Atık Su Projesi (SEGEP) 1998 yılında

Güneydoğu Geysers alanına su sağlamak için devreye alınmış, Santa Rosa'dan günde 41 milyon L su sağlayan 64 km uzunluğunda ikinci bir boru hattı olan Santa Rosa Geysers Doldurma Projesi (SGRP) ise 2003 yılında devreye alınmıştır (Majer ve Peterson, 2007). Geysers'deki önemli ticari gelişme 1960 yılında 12 MW'lık bir elektrik santraliyle başladı. Üretim 1981 yılına kadar yılda 63 MW oranında artmıştır. 1981 ve 1989 yılları arasında enerji üretimi yılda 150 MW artarak 1987'de sürdürülemez 1800 MW'a ulaştığında buhar üretimi yaklaşık 13×10^6 kg/saat hızına çıkarılmıştır (Barker vd., 1992).

2. YÖNTEM

Birden fazla sismometrede gözlemlenen sismik dalgaların varış zamanlarını kullanan geleneksel hiposantr (iç merkez) konum belirleme yöntemleri, yeryüzünün tam olarak bilinmeyen iç yapısından kaynaklanan hata içermektedir. Modern yüksek çözünürlüklü göreceli iç merkez konumlandırma yöntemleri, bu zorluğun üstesinden, ayrı sismometrelerde gözlemlenen deprem çiftleri için varış zamanlarındaki farklılıkları uydurarak gelir. Her bir çiftteki depremler birbirine yakınsa, seyahat süresi anomalileri neredeyse birbirini iptal eder ve göreceli konumlarda ortaya çıkan hatalar büyük ölçüde azaltılabilir. Ancak bu taktiğin bir dezavantajı vardır. Zaman farklılıklarına dayanması, sonuçları mutlak iç merkez konumlarına karşı duyarsız hale getirmektedir. Örneğin sondajı yönlendirmek için yapıların kesin konumlarının gerekli olduğu jeotermal uygulamalarda, mutlak konum hataları ciddi bir sorun olabilir.

Göreceli yer belirleme yöntemlerinin mutlak konuma duyarlılığı, geleneksel konum belirleme yönteminin güçlü bir yönünden yararlanılarak, yani mutlak varış süreleri bir miktar hesaba katılarak geliştirilebilir. Bağlı iç merkez konum

programı hypocc , hem diferansiyel hem de mutlak varış zamanlarını içeren veri setlerini tersine çevirebilir. Mutlak zamanların dahil edilmesi küçük ölçekli ayrıntıları çözme yeteneğini önemli ölçüde azaltmadan mutlak iç merkez konumlandırılmasının doğruluğunun artmasına katkı sağlar. Hypocc, birçok optimizasyon ve iyileştirme içermektedir. Sismik verileri matematiksel bir grafikte düzenler, her grafik düğümü bir depremi temsil eder ve grafik kenarları doğru diferansiyel zamanların mevcut olduğu depremleri birbirine bağlar. Mutlak mikro deprem konumlarının belirlenmesi, yerel dalga hızı yapısının modellerinin doğruluğuna bağlıdır. Yerel dalga hızı modelleri litolojiyi ve yerel jeolojik yapıyı aydınlatmak için çok önemlidir ve jeotermal işlemler dalga hızlarında değişikliklere neden olabilir (Julian ve Foulger, 2010).

İç merkez konumları depremler hakkında tartışmasız en temel bilgidir. Bununla birlikte, iç merkezler genellikle zayıf bir şekilde belirlenir. Depremlerin düzlemsel yapılar üzerinde olduğu durumlarda bile, hesaplanan iç merkezler tipik olarak sadece dağınık “kutudaki noktaları” gösterir ve önemli sondaj hedefleri olabilecek faylar gibi jeolojik özellikleri ortaya çıkarma kabiliyeti sınırlıdır. Ayrıca, türetilen iç merkezler genellikle önemli sistematik hatalar içermekte ve konum bulutlarının gerçek konumlarından uzaklaşmasına neden olmaktadır. Son kullanıcı için sorun, bağımsız olarak hesaplanan konumların belirtilen hatalardan daha fazla farklılık gösterdiği durumlardır. Bu sapma, genellikle hata miktarına en büyük katkıyı sağlayan kabuk yapısına ilişkin belirsizliğin göz ardı edilerek hataların yanlış hesaplanmasından kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak, sadece doğru değil, aynı zamanda gerçekçi hata tahminlerine sahip konumlar üreten araçlara ihtiyaç vardır.

İyi tasarlanmış ağlar söz konusu olduğunda, jeotermal alanlardaki konum hatasının temel kaynağı genellikle tam olarak

bilinmeyen kabuk yapısıdır (Maxwell, 2009). Zamanlama ve varış zamanı ölçümleriyle ilişkili rastgele hatalar konumlarında onlarca metrelik hataya neden olabilirken, kabuk yapısının yeterince bilinmemesinden kaynaklanan sistematik hatalar birkaç kat daha büyük olabilir. Bu sorunu azaltmanın birkaç yolu vardır. 1-B sismik modeller genellikle kontrollü kaynak sismolojisi kullanılarak elde edilir. Kırılma deneylerinde birkaç kilometre derinliğe inmek için onlarca kilometre uzunluğunda profillere ve nispeten büyük patlamalara ihtiyaç vardır. Bu tür çalışmalardan mekansal olarak kapsamlı, 3 boyutlu kabuk modelleri elde etmek için çok sayıda profil ve birden fazla patlama içeren çalışmalar gereklidir.

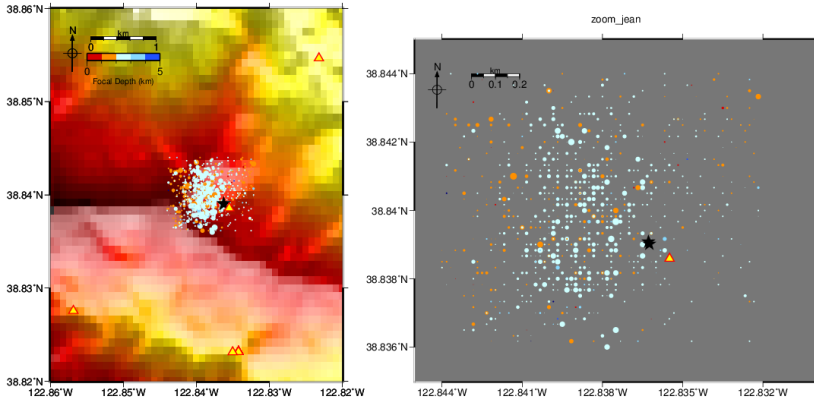
1-B kabuk modelleri, başlangıç zamanı ölçülmeyen ve ölçülen patlamalar ile depremlerden gelen varış zamanlarının ters çözümleri ile elde edilir (Kissling, 1995). Bu şekilde geliştirilmiş 1-B modeller kullanılarak depremlerin yerlerinin belirlenmesi, yer belirleme hatalarını nispi oranda azaltabilir. Depremler bir sismometre ağının altında iyi dağılmışsa, 3 boyutlu bir kabuk modeli belirlemek için yerel ölçekte sismik tomografi kullanmak mümkün olabilir. Sismik tomografi birçok volkanik ve jeotermal alanda başarıyla uygulanmıştır (Foulger ve Toomey, 1989; Foulger ve Arnott, 1993; Arnott ve Foulger, 1994; Foulger vd., 1995a, 1995b; Julian vd., 1996; Ross vd., 1999). Bu tür alanlarda, dalga hızlarının kilometreler ölçeğinde yanal olarak %10'dan fazla değiştiği gözlenmiştir. Sonuçta ortaya çıkan seyahat süresi anomalileri ölçüm hatalarından çok daha büyük olabilir. Bu etki hesaba katılmazsa moment tensör çözümlerinde de önemli hatalar ortaya çıkabilir (Foulger ve Julian, 1993). Tomografik ters çözümler tipik olarak 3 boyutlu bir kabuk modeline ek olarak düzeltilmiş iç merkez konumları için çözülür. Böyle bir model kullanarak yerel depremlerin yerini belirlemek bu hataları büyük ölçüde azaltabilir. Pratikte, yalnızca yapısal parametrelendirme ölçeğindeki

homojensizliklerden kaynaklanan hatalar azaltılır. Bu da tipik olarak en iyi ihtimalle 1-2 km'dir.

Göreceli iç merkez konumu yöntemleri, bir kümedeki münferit depremler arasındaki konum hatalarını büyük ölçüde azaltabilir ve böylece sismik olarak aktif yapıların çözünürlüğünü iyileştirebilir (De Meersman vd., 2009; Jansky vd., 2009). Tüm kümenin mutlak konumunun bu yöntemle iyileştirilmediğini, yalnızca deprem konumları arasındaki farklardaki hataların iyileştirildiğini anlamak önemlidir. Göreceli konum yöntemleri, her bir sismik istasyon için, yakın aralıklı depremlerden gelen dalgaların varış zamanlarındaki farklılıkları kullanır. Bu tür depremler için, ışın yolları boyunca kusurlu bir şekilde modellenmiş jeolojik yapının neden olduğu sapmalar neredeyse aynıdır. Bu nedenle varış zamanları farklılaştırıldığında neredeyse iptal olurlar ve varış zamanlarındaki varyasyonlar büyük ölçüde depremler arasındaki gerçek, küçük konum varyasyonlarının bir sonucudur (Waldhauser ve Ellsworth, 2000). Göreceli konum yöntemi, otomatik ölçümler, el ölçümleri ve dalga biçimi çapraz korelasyonu ile iyileştirilmiş varış süreleri dahil olmak üzere herhangi bir yöntem kullanılarak elde edilen varış sürelerine uygulanabilir. Dalga biçimi çapraz korelasyonu en çok dalga biçimlerinin benzer olduğu durumlarda yardımcı olur ve göreceli konumlandırma sürecine otomatik olarak dahil edilebilir. Olayları sıkı bir kümede göreceli olarak konumlandırmanın sonuçları, tanımlanan yapıların netliğinde olağanüstü bir gelişme olabilir - “bir kutudaki noktalardan” “bir kutudaki faylara” geçiş (Julian vd., 2010b).

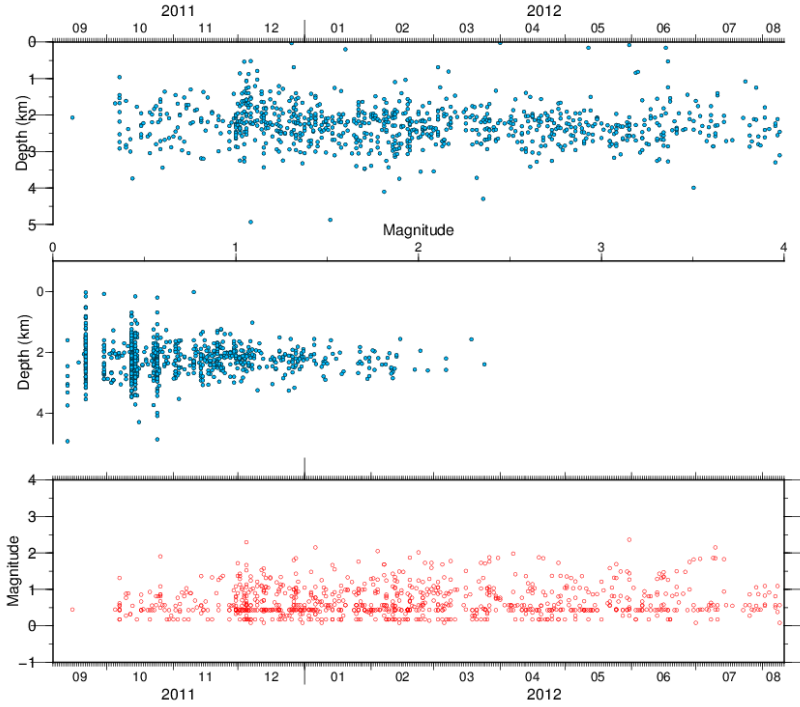
3. UYGULAMA

Geysers jeotermal alanında çok sayıda elektrik santrali ve enjeksiyon kuyusu bulunmaktadır. Bölgedeki belirli bir proje için enjeksiyon sırasında kaydedilen 270 günlük sismik aktivite dönemi için Geysers'in kuzeybatısında bir örnek alan uygulama alanı olarak seçilmiştir (Şekil 2).



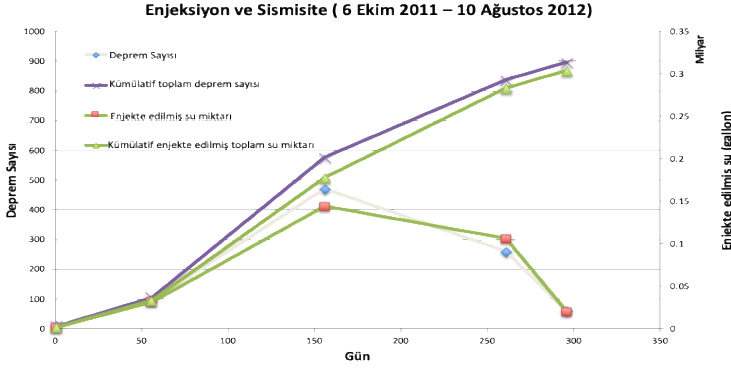
Şekil 2. Bu çalışma için kullanılan veriler. Haritalar, sol panelde enjeksiyon dönemi boyunca tüm sismik aktiviteleri ve sağ panelde enjeksiyon kuyusu yakınındaki sismik olayları göstermektedir.

Enjeksiyon işlemi 6 Ekim 2011 ile 10 Ağustos 2012 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Deprem yerleri ve faz okumaları Kuzey Kaliforniya Deprem Veri Merkezinden alınmıştır. Şekil 3, enjeksiyon zaman çizgisi boyunca odak derinliği ve büyüklüğü dikkate alınarak olayların dağılımını göstermektedir. Olayların büyüklüğü ve derinliği sırasıyla 0.1 ila 2.5 ve 0 ila 5 km arasında değişmektedir. Enjeksiyon dönemi boyunca meydana gelen en büyük olayın büyüklüğü 2.46'dır.



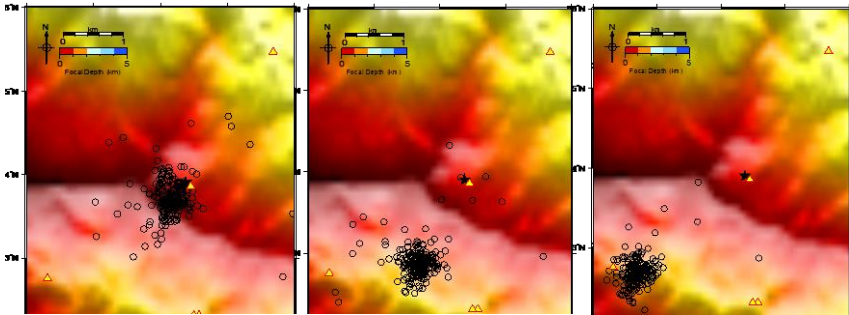
Şekil 3. Enjeksiyon periyodu boyunca odak derinliği ve büyüklüğü dikkate alınarak enjeksiyon kuyusu etrafındaki sismik olayların dağılımı.

Şekil 4, 270 günlük enjeksiyon süresince enjekte edilen su miktarını ve gözlenen deprem sayısını göstermektedir. Grafikten de görüleceği üzere kümülatif enjekte su miktarı ile kümülatif deprem sayısının uyumlu görüldüğü gibi enjekte edilen su miktarı ile deprem sayısı arasındaki ilişki açıkça görülmektedir.



Şekil 4. 270 günlük enjeksiyon süresince enjekte edilen su miktarı ve gözlenen depremsellik

Sismik olayları hypoc programını (Julian 2010) kullanarak yeniden konumlandırdık. Bu işlem için, P ve S sismik dalga faz okumaları Kuzey Kaliforniya Deprem Veri Merkezi (NCEDC) 'nin web sitesinden indirilmiştir. İki adet 1-B hız modeli kullandık (Eberhart-Philips 1986). Tablo 1, 1-B hız modeli parametrelerini göstermektedir. Su enjeksiyonunun neden olduğu sismik olayları anlamak için kaç iterasyona ihtiyacımız olduğunu bulmaya çalıştık. Şekil 5 farklı iterasyonlar için yeniden konumlandırılmış olayları göstermektedir. Sismik olayların konumları artan iterasyon sayısı ile dışa doğru gitmektedir.

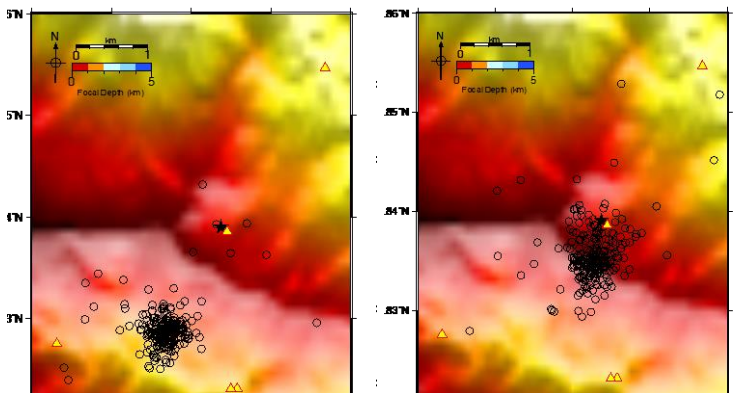


Şekil 5. Soldan sağa doğru 3, 10 ve 30 iterasyon ile yeniden konumlandırılan olayların dağılımı.

Table 1. Çalışmada kullanılan 1B hız modelleri

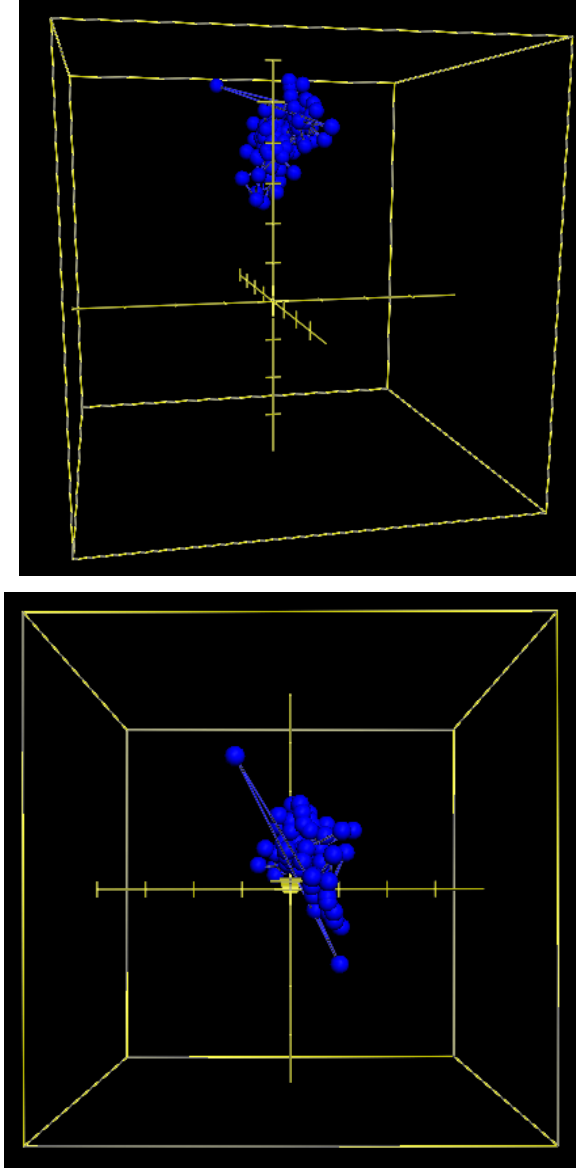
Model 1			Model 2		
Thickness (km)	Vp(km/s)	Vs(km/s)	Thickness (km)	Vp(km/s)	Vs(km/s)
1.50	4.43	2.46	0.50	4.35	2.51
1.50	5.12	2.84	0.50	4.55	2.56
1.25	5.47	3.04	1.00	4.95	2.78
1.75	5.58	3.10	1.00	5.37	3.05
2.00	5.62	3.12	1.00	5.71	3.29
7.00	5.85	3.26	1.00	5.76	3.36
10.0	6.80	3.78	1.00	5.81	3.42
200.0	6.80	3.78	2.00	5.82	3.49
			2.00	5.82	3.49
			200.0	5.82	3.49

Yöntem bölümünde daha önce de belirtildiği gibi, hypocc programı mutlak zamanları zaman farklarıyla birlikte kullanma şansı verir ve bu görev yer değiştirme prosedüründeki hataları azaltabilir. Bu ticari işletme sahaları için çok önemlidir. Şekil 6, mutlak zamanları dikkate alarak 10 iterasyon için yeniden konumlandırılan olayların dağılımını göstermektedir.



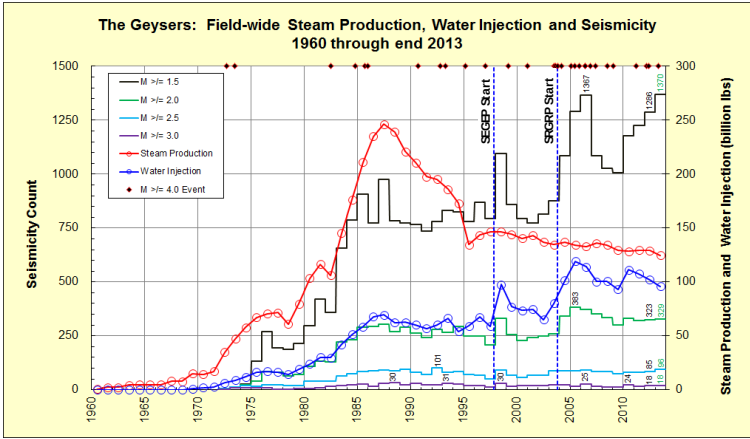
Şekil 6. Mutlak süreler olmadan (sol panel) ve mutlak sürelerle (sağ panel) 10 iterasyonla yeniden konumlandırılan olayların dağılımı.

Şekil 7, hypocc tarafından yerleri değiştirilen mikrodepremlerin 3 boyutlu görüntülerini göstermektedir.



Şekil 7. Yeniden konumlandırılan sismik olayların dağılımının 3B gösterimi, önden (sol) ve üstten (sağ) bakış.

Kuzeybatı Geysers de 270 gün süre ile uygulanan enjeksiyon işlemi süresince gözlenmiş mikrosimik olaylar yeniden konumlandırılarak rezervuar modellenmeye çalışılmıştır. Yerel ağ tarafından kaydedilen ve NCEDC aracılığıyla kullanıma sunulan deprem odak parametreleri ve faz okumaları kullanılmıştır. Şekil 7, hypocc kullanılarak yeniden konumlandırılan mikro depremlerin 3B görüntülerini göstermektedir. Jeotermal alanlarda akışkan enjeksiyonları ile uyarılan sismisite, doğal sismisiteye sahip bölgelerde tehlikenin yönetilmesine yardımcı olabilecek değerli bilgiler sağlar. Uyarılmış sismisite izlenirse, ortamın yapısı ve fiziksel parametrelerinin ayrıntılarını ve bu parametrelerde üretimin neden olduğu değişiklikleri ortaya çıkarabilir. Bunlar arasında enjekte edilen sıvı yollarının konumları, fay hareketinin şekli ve rezervuarın yapısı ve ısı kaynağının yeri gibi unsurlar bulunmaktadır. Geleneksel deprem işleme teknikleri ve yazılımları bu problemler için yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmada kullanılan teknik ve yazılım bu nedenle geliştirilmiştir. Geysers bölgesi elektrik üreticilerinden birisi olan ve düzenli rapor yayınlamakla yükümlü olan Calpine şirketi tarafından yayınlanan raporda 1960 yılından 2013 yılı sonuna kadar buhar üretimi, su enjeksiyonu ve uyarılmış sismisite oranı Şekil 8'de sunulmuştur. Bu şekil, bölgedeki sismisitenin buhar üretiminden ziyade enjekte edilen su hacmi ile iyi korelasyon gösterdiğini ortaya koymaktadır.



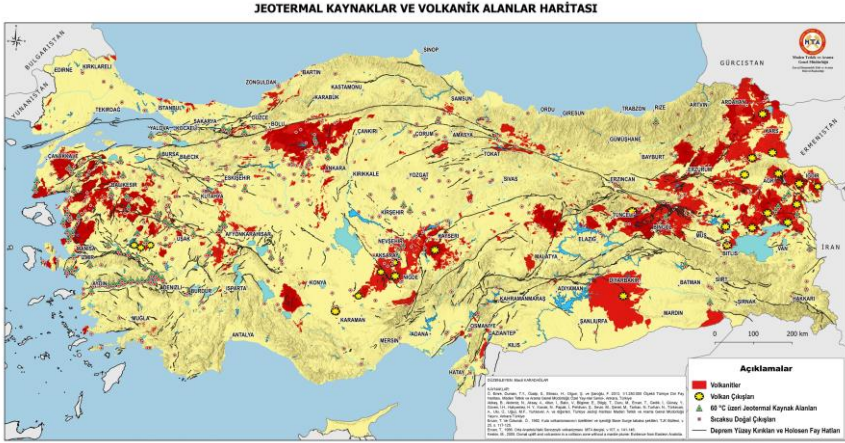
Şekil 8. Su enjeksiyonu, Buhar Üretimi ve 1960-2013 Depremsellik değişimi (<https://geysers.com/smac>)

4. SONUÇLAR

Şekil 4 ve 8 de verilen görseller yeraltına enjekte edilen su miktarına bağlı olarak depremselliğin de geliştiğini açık bir şekilde göstermektedir. Şekil 8 de SEGEP ve SRGRP olarak gösterilen iki ayrı su iletim hattının başlangıç tarihini göstermektedir. Rezervuardaki suyun aşırı azalması ve yüzey sularının yeterince besleyememesi sonucu elektrik üretimi ve rezervuarın kullanımı olumsuz yönde etkilenmiştir. Bu nedenle adı geçen iki proje ile rezervuara su beslemesi sağlanmaya ve yeraltı su miktarı belli bir seviyede tutulmaya çalışılmıştır. Her iki projenin başlangıçlarına denk gelen deprem sayısındaki artış dikkat çekicidir.

Ülkemiz tektonik olarak aktif bir bölgede bulunmakta olup, doğal depremsellik olağan olarak yüksektir. Bunun yanı sıra pek çok jeotermal alana sahip olduğumuz ve bu sahalardan gelişmenin temeli olan enerji üretimi yapılmaya başlandığı ve hızla kapasitenin artırılmaya çalışıldığı bir dönemdeyiz (Şekil

9). Bu çalışma ile sunulan sismojik izlemenin ülkemizde de her bir jeotermal sahada titizlikle yürütülmesi hem sektörün gelişmesine hem de yersiz tartışmaların yaşanmasına engel olacak tek bilimsel uygulamadır.



Şekil 10. Jeotermal kaynaklar ve volkanik alanlar haritası (MTA web sitesi- <https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari>)

Uyarılmış sismisite ile jeotermal operasyonlar arasındaki ilişki göz önünde bulundurularak, bazı sahalarda uygulanan "trafik ışıĒı sistemi" güvenli çalışma ortamının sağlanması amacı ile tüm enerji çalışma sahalalarında uygulanmalıdır. Jeotermal enerji yatırımları tüm dünyada olduĒu gibi ülkemizde de hızlı bir şekilde artmakta olup, uyarılmış sismisitenin izlenmesi konusunda uygulamalara ihtiyaç duyacaktır. Ülkemizin sismik olarak aktif bir kuşakta bulunduĒu akılda tutularak, çalışma alanlarında özellikle enjeksiyon ve/veya çatlatma faaliyetlerinin izlenmesi ve gözlenen depremselliĒe karşı risk azaltma planlarının geliştirilmesi gereklidir. Bu alanda ulusal düzeyde sismik izleme kılavuzu oluşturularak bu türlü sahalarda en hassas şekilde sismik izlemeyi sağlayacak alt yapının oluşturulması teşvik edilmeli ve elde edilen sismik

verinin de uygun olan en kısa zamanda kamuya açılması sağlanmalıdır. Yaşanabilecek bu türlü olumsuzluklara karşı bir acil durum eylem planının da işletmeler tarafından hazırlanmış olması sağlanarak güvenli enerji yatırımları oluşturulabilecektir.

5. KAYNAKÇA

- Arnott, S. K., and Foulger, G. R.: The Krafla spreading segment, Iceland: 1. Three- dimensional crustal structure and the spatial and temporal distribution of local earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, 99, (1994), 23801–23825, doi: 10.1029/94JB01465.
- Barker, B. J., M. S. Gulati, M. A. Bryan, and Riedel K. L.: Monograph on The Geysers geothermal field, Special Report No. 17, (1992), Geothermal Resources Council, 167.
- Boyle K., and M. Zoback, 2014. The stress state of the Northwest Geysers, California Geothermal Field, and Implications for Fault-Controlled Fluid Flow, *B.S.S.A.*, 104, 2303-2312
- Buijze, L., van Bijsterveldt, L., Cremer, H., Paap, B., Veldkamp, H., Wassing, B. B., et al. (2019). Review of induced seismicity in geothermal systems worldwide and implications for geothermal systems in The Netherlands. *Netherlands Journal of Geosciences*, 98, e13. [https://doi.org/ 10.1017/njg.2019.6](https://doi.org/10.1017/njg.2019.6)
- De Meersman, K., J.-M. Kendall, and M. van der Baan, 2009, The 1998 Valhall microseismic data set: An integrated study of relocated sources, seismic multiplets, and S-wave splitting: *Geophysics*, 74, no. 5, B183–B195, doi: 10.1190/1.3205028.
- Eberhart-Phillips, D. (1986). Three-dimensional velocity structure in northern California Coast Ranges from inversion of local earthquake arrival times, *Bull. Seism. Soc. Am.* v.76 1025-1052.
- Ellsworth W. L., 2013. Injection-induced Earthquakes. *Science*, 341, 6142, DOI: 10.1126/science.1225942

- Foulger, G. R., A. D. Miller, B. R. Julian, and Evans J. R.: Three-dimensional Vp and Vp/Vs structure of the Hengill triple junction and geothermal area, Iceland, and the repeatability of tomographic inversion: *Geophysical Research Letters*, 22, (1995a), 1309–1312, doi: 10.1029/94GL03387.
- Foulger, G. R., A. M. Pitt, B. R. Julian, and Hill D. P.: Three dimensional structure of Mammoth Mtn., Long Valley caldera, from seismic tomography: EOS, *Transactions of the American Geophysical Union*, 76, (1995b) no. 46, F351.
- Foulger, G. R., and Arnott, S. A.: Local tomography: Volcanoes and the accretionary plate boundary in Iceland, in H. M. Iyer, and K. Hirahara, eds., *Seismic tomography: Theory and applications*: Chapman and Hall, (1993), 644–675.
- Foulger, G. R., and Julian B. R.: Non-double-couple earthquakes at the Hengill-Grensdalur volcanic complex, Iceland: Are they artifacts of crustal heterogeneity?: *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83, (1993), 38–52.
- Foulger, G. R., and Toomey, D. R.: Structure and evolution of the Hengill-Grensdalur volcanic complex, Iceland; *Geology, geophysics, and seismic tomography: Journal of Geophysical Research*, 94, (1989), 17511–17522, doi: 10.1029/JB094iB12p17511.
- Ge, S., Giardini, D., Ellsworth, W., Shimamoto, T. & Townend, J., 2019. Overseas Research Advisory Committee report on the Pohang earthquake. The Geological Society of Korea (Seoul).
- Grigoli, F., Cesca, S., Priolo, E., Rinaldi, A., Clinton, J., Stabile, T., et al. (2017). Current challenges in monitoring, discrimination and management of induced seismicity related to underground industrial activities: A European perspective. *Reviews of Geophysics*, 55(2), 310–340. <https://doi.org/10.1002/2016RG000542>

- Gunasekera, R.C., Foulger, G.R., and Julian, B.R.: Reservoir depletion at The Geysers geothermal area, California, shown by four-dimensional seismic tomography, *Journal of Geophysical Research*, 108, (2003)
- Gupta, A., & Baker, J. W. (2019). A framework for time-varying induced seismicity risk assessment, with application in Oklahoma. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17(8), 4475–4493.
- Jansky, J., V. Plicka, and Eisner, L.: Feasibility of joint 1-D velocity model and event location inversion by the Neighbourhood algorithm: *Geophysical Prospecting*, 58, (2010), 229–234, doi: DOI: 10.1111/j.13652478.2009.00820.x
- Julian, B. R., and Foulger, G. R.: Time-dependent tomography: *Geophysical Journal International*, 182, (2010) 1327–1338, 10.1111/j.1365-246X.2010.04668.x.
- Julian, B. R., and Foulger, G. R.: Earthquake mechanisms from linear programming inversion of seismic-wave amplitude ratios: *Bulletin of the Seismological Society of America*, 86, (1996), 972–980.
- Keranen, K. M., & Weingarten, M. (2018). Induced seismicity. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 46, 149–174. [https://doi.org/ 10.1146/annurev-earth-082517-010054](https://doi.org/10.1146/annurev-earth-082517-010054)
- Kim, K., Ree, J., Kim, Y., Kim, S., Kang, S.Y. & Seo, W., 2018a. Assessing whether the 2017 Mw 5.4 Pohang earthquake in South Korea was an induced event. *Science (New York)* 360(6392): 1007. doi:10.1126/science.aat6081.
- Kissling, E.: *Velost user's guide*: Institute of Geophysics, 31, (1995).

- Kwiatek, G., Saarno, T., Thomas, A., Bluemle, F., Bohnhoff, M., Chendorain, M., Dresen, G., Heikkinen, P., Kukkonen, I., Leary, P., Leonhardt, M., Malin, P., Garzon-Martinez, P., Passmore, K., Passmore, P., Valenzuela, S., and Wollin, C., (2019). Controlling fluid induced seismicity during a 6.1-km-deep geothermal stimulation in Finland. *Science Advances*, 2019;5.
- Langenbruch, C., Weingarten, M., & Zoback, M. D. (2018). Physics-based forecasting of man-made earthquake hazards in Oklahoma and Kansas. *Nature Communications*, 9(1), 3946. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06167-4>
- Lim, H., Deng, K., Kim, Y.H., Ree, J.H., Song, T.R.A., and Kim, K.H. (2020). The 2017 Mw 5.5 Pohang earthquake, South Korea, and poroelastic stress changes associated with fluid injection. doi: 10.1029/2019JB019134.
- Majer, E.L. ve Peterson, J.E. 2007. The impact of injection on seismicity at the geysers, California geothermal field., *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 44, 1079-1090.
- Maxwell, S.: Microseismic location uncertainty: CSEG Recorder, April 41–46, (2009).
- Petersen, M., Mueller, C. S., Moschetti, M. P., Hoover, S. M., Rukstales, K. S., McNamara, D. E., et al. (2018). One-year seismic hazard forecast for the central and eastern United States from induced and natural earthquakes. *Seismological Research Letters*, 89(3), 1049–1061. <https://doi.org/10.1785/0220180005>
- Ross, A., G. R. Foulger, and Julian, B. R.: Source processes of industrially-induced earthquakes at the Geysers geothermal area, California: *Geophysics*, 64, (1999), 1877–1889, doi: 10.1190/1.1444694.

- Shapiro, S. A. & Dinske, C., 2009. Fluid-induced seismicity: pressure diffusion and hydraulic fracturing. *Geophysical Prospecting* 57: 301–310.
- Stanley, W. D., H. M. Benz, M. A. Walters, A. Villasenor, and Rodriguez, B.: Tectonic controls on magmatism in The Geysers-Clear Lake region: Evidence from new geophysical models, *GSA Bulletin*, 110, (1998), 1193–1207.
- Waldhauser, F., and W. L. Ellsworth (2000), A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward Fault, California, *Bull. seismol. Soc. Am.*, 90, 1353-1368.
- Willems, C.J., Nick, H.M., Weltje, G.J. & Bruhn, D.F., 2017. An evaluation of interferences in heat production from low enthalpy geothermal doublets systems. *Energy* 135: 500–512.

KAYAÇLARIN EKONOMİK ÖNEMİ

Hüseyin KURT¹

Gülin GENCOGLU KORKMAZ²

1. GİRİŞ

Mineraller, doğada bulunan, belirli bir kimyasal bileşime sahip maddece homojen ve genelde katı maddelerdir. Sıcaklık, ısı, basınç, pH, Eh özellikleri olarak ifade edilen fiziko-kimyasal koşulların bir veya birkaçının etkisi sonucu meydana gelirler. Bir mineral, bir veya birkaç tür elementten meydana gelmektedir. Kayaçlar ise, mineral topluluklarıdır. Bir ya da birkaç tür mineral veya kayaç parçacıklarının bir araya gelmesiyle oluşurlar.

Mineralojik sınıflamalarda birçok mineral grubu ayrılabilmesine rağmen kayaçları oluşturan başlıca mineraller; kayaçlar içerisinde bol olarak bulunan ve kayaca isim veren silikatlar, karbonatlar, sülfatlar ve tuzlardır.

Silikat mineralleri (kayaç yapan mineraller); kuvars, feldspat, mika, piroksen, amfibol, olivin, kil ve alüminyum silikatlarıdır. Silikatlar sadece magmatik kayaçların değil, metamorfik kayaçların ve bunların ayrışma ürünlerinin, tortul kayaçların çoğunun ve kristal şistlerin ana bileşenidir. Silikatların esas elementi doğada her zaman oksijen ile bileşik yapmış şekilde bulunan silisyumdur. **Kayaçlar; magmatik,**

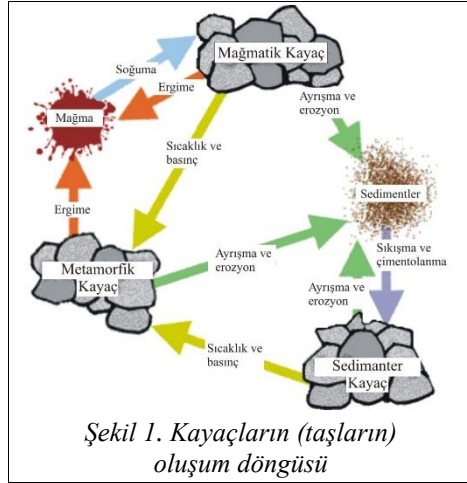
¹ Prof.Dr., Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doga Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, hkurt@ktun.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7991-2085.

² Dr.Öğretim Üyesi, Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doga Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, ggkorkmaz@ktun.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0185-2806

metamorfik ve sedimanter olmak üzere üç grup altında incelenir. Yerin içerisinden yükselerek çıkan silikat eriyiği soğuyup katılaşıp magmatik kayaçları, ayrışıp aşınan kayaçlar çökelerek ve daha sonra sıkışarak sedimanter (çökel) kayaçları oluşturur. Daha önce oluşan magmatik, sedimanter ve yine metamorfik kayaçlar farklı basınç ve sıcaklık şartlarına sahip olan bir ortamda kararlı kalamayıp yeni ortam şartlarına uyum sağlamak üzere başkalaşım kayaçlarını oluştururlar. Kayaçlar da sular gibi bir döngüye sahiptir (Şekil 1).

Kayaçlarda özgül ağırlık, porozite, su emme, birim hacim ağırlığı, basınca karşı direnç, aşınma, parçalanma, taşıma gücü, şekil ve hacim değiştirme gibi fiziksel ve mekânîk özellikler mühendislik çalışmalarında önemli verilerdir. Bu özellikler çeşitli laboratuvar

deneyleri ile araştırılır ve rakamlar ile ifade edilir. Bu sonuçlara göre kayaçların yapı malzemesi, mermer olabilirlikleri, endüstride kullanılma nitelikleri, kayaçların temel olma yönünden sağlamlık, deprem etkilerine karşı dayanıklılık derecesi, çeşitli kayaçların yeraltısularını depolaması ve yeraltısuyunu vermesi gibi özellikleri belirlenir.

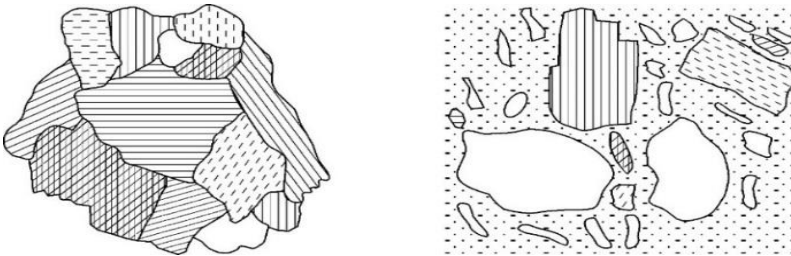


Şekil 1. Kayaçların (taşların) oluşum döngüsü

2. MAGMATİK KAYAÇLAR

Yerkabuğunun derinliklerinde bulunan ve sıcaklığı 600-1300°C arasında değişen, uçucu bileşenler bakımından doymun

bir silikat çözeltisi olan magmanın basınç ve sıcaklığının giderek azalması sonucu katılaşması/kristalleşmesi sonucu magmatik kayalar oluşmaktadır. Bu katılaşma yerkabuğu derinliklerinde ve yavaş soğuma sonucu gelişmişse derinlik (intruzif = plutonik) kayaları, soğuma, magmanın yeryüzüne çıkması sonucu, hızlı bir şekilde gelişmişse yeryüzünde veya yeryüzüne çok yakın kısımlarda yüzey (ekstruzif = volkanik) kayaları veya diğer kayaların arasında, onların içinde çatlak ve kırıkları doldurur biçimde yarı derinlik (sub volkanik=damar) kayaları oluşur. Yüzey kayalarında hızlı soğuma ile kayacı oluşturan kristaller camsı bir hamur içinde yüzen küçük kristallerden oluşmuş bir görünüme sahiptirler. Yüzey kayaları, yeryüzüne kadar ulaşmış ve orada katılaşmış magmatik ürünlerdir. Bunlar; katı, sıvı ya da gaz olabilirler. Bir volkanik faaliyette bunların hepsi görülebilir. Katı ürünler, lavlar ve proklastikler diye ikiye ayrılır. Lavlar, volkanik faaliyetler esnasında ortaya çıkan eriyiklerdir. Piroklastikler ise, püskürmeler esnasında gazlarla birlikte fırlatılan taneşel maddelerdir. Tane boylarına göre; kül, lapilli, blok-bomba diye üçe ayrılırlar. Bunların tutturulmasıyla (çimentolanmasıyla) oluşan kayalar, tuf, volkanik breş, aglomera olarak tanımlanır. İgnimbirit (kaynak tuf); taneleri birbirine kaynaşmış bir tuf çeşididir.



Şekil 2. Taneşel (solda) ve Porfirik (sağda) dokuların görünümü

Magmatik kayaların isimlendirilmeleri içlerinde bulunan minerallerin cinslerine ve oranlarına göre yapılır. İsimlendirmede dikkate alınan en önemli mineraller kuvars, feldspat türleri ve kısaca koyu renkli mineraller olarak isimlendirilen biyotit, amfibol, piroksen, olivin vb. leridir. Magmatik kayaların içinde diğerlerine göre daha iri olarak bulunan kristallere fenokristal denir ve bunlar genellikle magmatik kristalleşmenin ilk evrelerinde oluşurlar. Daha sonra oluşan küçük kristaller ve/veya cam fenokristallerin arasını doldurur, bu faza hamur fazı denir. Derinlik kayalarında hamur fazı yoktur.

Mikroskop veya bazen el örneğinde kayaların kristalleşme derecesi, kristallerin tek tek ve birbirlerine göre büyüklükleri, kristallerin düzgünlük dereceleri, kayaç içindeki durumları ve mineral bileşimleri onların dokusal özellikleriyle belirlenir. Kayaç bileşenleri yaklaşık aynı büyüklüğe sahip derinlik kayalarında tanesal doku görülürken, fenokristal fazı ve bir hamur fazından (volkanik cam + Küçük kristaller = mikrolitler) oluşan volkanik veya yüzey kayalarında porfirik doku oluşur (Şekil 2).

2.1. Magmatik Kayaların En Yaygın Olanları ve Ekonomik Önemleri

Granit: Mineralojik bileşimini kuvars, ortoklas, plajiyoklas, biyotit, bazen hornblend, bazen muskovit, nadiren ojit oluşturur. Minerallerin yüzde dağılımı yaklaşık; kuvars %10-40, ortoklas ve mikroklin %30-60, plajiyoklas, %35, koyu renkli (mafik) mineraller %10-35. Tali bileşen olarak apatit, titanit, monazit ayrıca turmalin, florlu topaz, lityumlu mika bulunur.

Kaba gözle de ayırt edilmek üzere, alkali feldspatlardan ortoklasın etkinliği halinde, rengi pembe veya kırmızı; diğer hallerde ise gridir. Dayanıklılığı ve donmalardan etkilenmemesi

için ufak kristalli olması çok önem arz eder. Çünkü ince tanelilerde porozite az olacaktır ve içerlerine suların nüfuz etmesi zorlaşacağından yüzeylerde parçalanma olmayacaktır. Bir granit kütlesinde aranan en büyük özellik, blok verebileceğidir. Levha üretimi için büyük blok alınabilmesi şarttır. Eğer parke üretilecekse, daha küçük blokların alınabilmesi yeterlidir.

Kimyasal bileşim olarak; %72 SiO₂, %13.1 Al₂O₃, %1.9 Fe₂O₃, %1.3 FeO, %0.6 MgO, %1.5 CaO, %3.5 Na₂O, %4.8 K₂O ve %0.7 H₂O içerir.

Riyolit: Granitin önemli bir yüzey kayacı olup, yüzeye yakın dayklar, siller, yüzeyde çiviler, domlar, tüfler şeklinde bulunur. İgnimbirit örtüleri, hemen hemen riyolitle dasit bileşimlidir. Mineraloik bileşim olarak kuvars, sanidin, plajiyoklas (olijoklas) bileşimli, biyotit ve hornblend'den meydana gelir. Kayaç; açık gri, beyaz, hafif pembemsi renkler gösterir.

Dasit: Granodiyoritlerin yüzey kayacıdır. Renkleri gri, kahverengimsidir. Fenokristal olarak plajiyoklas (oligoklas-andezin), kuvars, hornblend, biyotit ve bazen ojit bulundurur. Dasitler çoğunlukla dayk ve domlar şeklinde bulunurlar. Bunlara ait tüflerde yaygındır.

Pomza (Sünger Taşı): Gazla dolu ve geniş bir alana yayılan püskürme kütlesi, içindeki gazı kaybederek hızla soğur ve böylece gözenekli, hafif yapıda taşsı bir kayaç ortaya çıkar. Bu kayaç türü, pomza veya süngertaşı olarak adlandırılır. Eğer püsküren malzeme silis açısından zengin (asidik) bir bileşimdeyse, genellikle kirli beyaz renkli pomza oluşur. Ancak, bileşiminde andezit veya bazalt bulunuyorsa, siyah, kahverengimsi sarı veya kahverengi bazik cüruf meydana gelir.

Perlit: Asidik lavın su içeren ortamlarda hızla soğuması sonucu, kılcal çatlamalarla dolu ince boşluklar oluşur. Bu süreç,

kayaçta kapiler özellik gelişmesine ve su emme kapasitesinin artmasına yol açar. Soğuyan lavın içinde hapsolan su molekülleri, kayada bağlı su olarak kalır ve bu kayaç perlit olarak adlandırılır.

Perlit ısıtıldığında, 450°C'de bağlı suyun tamamı buharlaşarak kayadan ayrılır, ancak kayada yapısal değişiklik olmaz. Sıcaklık 700-1200°C arasında yükseldiğinde, camdaki etkin su buharlaşır ve kayaç hacminde önemli bir artış meydana gelir. Bu hacim artışı, perlit türüne göre 4 kat kadar olabilir ve bazı türlerde bu artış 20 katı bulabilir. Perlitin bileşiminde %90-97 oranında volkanik cam bulunur, geri kalan kısmı ise kristalleşmiş feldspat ve biyotittir. Az miktarda kuvars, apatit ve manyetit de içerir. Genellikle açık gri renkte olan perlit, genleştiğinde beyaz renge dönüşür. Özgül ağırlığı 2.2-2.4 g/cm³ arasında değişir ve doğadasüngerimsi bir yapıya sahiptir. İç içe geçmiş soğan zarı benzeri bir yapı gösteren perlit, bazen granüler de olabilir. Su içeren aktif perlit türleri, hacimlerinde büyük artış gösterdiği için yüksek kaliteli olarak kabul edilir. Pomza ve perlit arasındaki en önemli fark, perlitin bünye suyu içermesi, oysa pomzanın bu özelliği taşımamasıdır.

Ekonomik Önemleri; Granit, çok sert bir kayadır. Kristalleri sıkı bağlı olduklarından, yapısı sağlamdır. Granitler esas olarak kuvars ve feldspat içerdiklerinden sert kayalardır, sertliği 6.5. Dış etkilere karşı oldukça dayanıklıdırlar. Bazıları kırıklı, bazıları da çok yaşlı olduklarından, blok üretimine elverişli değildir. Yine de işleme uygun miktarı çok fazladır. Granitlerde pembe, kırmızı, mor veya eflatun renkler dünyaca tutulan renklerdir. Dayanıklılığı ve donmalardan etkilenmemesi için ufak kristalli olması çok önem arz eder. Çünkü ince tanelilerde porozite az olacaktır ve içerlerine suların nüfuz etmesi zorlaşacağından yüzeylerde parçalanma olmayacaktır. Bir granit kütleinde aranan en büyük özellik, blok verebileceğidir. Levha üretimi için büyük blok alınabilmesi

şarttır. Eğer parke üretilecekse, daha küçük blokların alınabilmesi yeterlidir.

Bileşenleri asitlerden etkilenmediklerinden, değiştirici dış etkilere karşı fevkalade dayanıklıdır. Bütün bu özellikleri itibariyle mermerlerden çok üstün olan granitlerin tek problemi, blok çıkarım ve levha üretim masraflarının yüksek olmasıdır. Dayanıklılığı ve donmalardan etkilenmemesi için ufak kristalli olması gerekir. Çünkü taşıdığı çok küçük porozite mikro boşluklarından ileri gelmekte olup, bunların içine dolan suların donmasıyla, az oranda olsa, yüzeyler sürekli parçalanmaya maruz kalmaktadır. Bu grup taşlar doğrudan veya dolaylı olarak içerdikleri mineralizasyonların dışında yapı taşları, liman, karayolu inşaatları, çeşitli sanat eserlerinin malzemesi, parke taşı vs. gibi de kullanıldıklarından, taş ocağı olarak işletilirler. Anıtlarda ve kaplama taşı olarak kullanılan granitlerin özellikle demir sülfat (pirit) içermemesine dikkat edilir.

Bilhassa bu gurubun derinlik kayaçları ekonomik yönden önemlidir. Molibden, kalay, wolfram, altın, kurşun, uranyum, antimuan, civa, demir, arsen, bizmut, bakır, çinko, gümüş yatakları granitlere bağlı olarak oluşurlar. Co ve Ni, granitlere bağlı olarak ikincil yataklar halinde oluşmaktadır. Doğu Karadenizdeki bakır yatakları, bu guruba ait yataklardır. Türkiye'nin en önemli bakır-kurşun-çinko metallojenik kuşağı olan Doğu Karadeniz Bölgesi'nde dasitler ve dasitik proklastikler ile sıkı bir ilişki gösterirler ve cevher yataklarının bulunmasında iyi bir kılavuz rolü oynarlar.

Pegmatitler içerdikleri nadir mineraller yüzünden çok önem taşırlar. Ayrıca Mo, Bi, özellikle Sn ve W bakımından önemlidirler. Bir çoğu, feldispat, mika, Li, U, Th, nadir topraklar, kriyolit, apatit, beril ve kıymetli taşlar için işletilmektedirler.

Pomza inşaat sektöründe, aşındırıcılıkta, tekstil sanayiinde, kozmetik alanda, barbekü ocaklarında, tarımda, metal dedektörlerde ve diğer çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Hafif biriket yapımının vazgeçilmez hammaddelerinden biridir. Pomzadan üretilen beton daha hafif olduğu için inşaatlarda demir kullanma oranını düşürür ve tasarruf sağlar. Isıya karşı normal betona göre altı kat daha yalıtıcıdır. Normal betona göre elastik özelliği de 6 kat daha fazla olduğu için özellikle deprem bölgelerinde sarsıntıya karşı dayanıklılığı artırır. Terlemeye daha az eğilimlidir. Basınca karşı direnci normal betonun iki katıdır.

Perlit, büyük hacimli ve hafif kütleli, asitlere ve diğer etkenlere karşı da dayanıklı olduğundan, inşaat sektörü için vazgeçilmeyecek bir hammadde kaynağıdır. Daha hafif, ısı ve sese karşı daha yalıtıcı, kimyasal etkilere karşı daha koruyucu ve yangına karşı daha dayanıklıdır. Ancak basınca karşı mukavemeti daha düşüktür. Bunun için beton çelik binalarda ve prefabrik duvarlarda daha elverişlidir. Ayrıca hafif olması sebebiyle binalardaki taşıyıcı kirişlerin daha az malzeme ile yapılmasını ve maliyetin düşmesini sağlar. Deprem açısından da binalarda hafiflik sağlaması önemlidir.

Siyenitler: Esas bileşen olarak ortoklas ve hornblend ihtiva ederler. Alkali feldspatı ortoklas, anortoklas, mikroklin oluşturur. Az miktarda plajiyoklas, biyotit ve proksen de bulundurulur. Kuvars ya çok azdır ya da hiç yoktur. Siyenitlere doğada, granitlere oranla daha az rastlanır.

Kimyasal bileşim olarak; %58.6 SiO_2 , %16.4 Al_2O_3 , %3.6 Fe_2O_3 , %3.1 FeO , %3.1 MgO , %4.5 CaO , %3.5 Na_2O , %4.8 K_2O ve %1.1 H_2O içerir.

Trakit: Siyenitin önemli bir yüzey kayacı olup, mineralojik bileşimleri; sanidin, plajiyoklas (andezin, oligoklas), hornblend, biyotit, az miktarda ojit, nadiren olivin ihtiva ederler.

Nadiren az miktarda cam da görülür. Trakitler, lav akıntısı, kubbe, damarlar şeklinde bulunurlar.

Ekonomik Önemleri; Siyenitler metalik madenler yönünden pek zengin değildirler. İkincil olarak molibden ve fosfor, birincil olarak demir yatakları içerirler. Bazı siyenitler korund için işletilirler. Siyenitler, kuvarsız, feldispatlı ve koyu mineralli kayaçlardır. İçinde kuvars olmaması nedeniyle iyi cilalanabilir. Yapıtaşı olarak kullanılır. Kaldırım taşı olarak çok değerlidir. Ayrıca, kırma taş olarak çok iyi yol malzemesidir. Larvikit gibi bazıları sanat eserleri için bütün dünyada aranılırlar.

Diyoritler: Diyoritler, yeşilimsi siyah ve siyah renkli, taneseli yapı gösteren derinlik kayaçlarıdır. Diyoritlerde SiO_2 oranı %53-62 arasındadır ve nötr (ortaç) bileşimli kayaç olarak tanımlanırlar. Diyoritlerin başlıca açık renkli bileşenini plajiyoklas (andezin, labrador) meydana getirir. Açık renkli bileşen olarak %20' ye kadar kuvars içerebilirler. Gabrolara tedrici geçiş gösterirler. Mineralojik bileşimi; Plajiyoklas (andezin bileşimli), hornblend, proksen ve biyotit oluşturur. Ortoklas ve kuvars nadir olarak düşük oranda bulunur. Bazı diyoritlerde olivine de rastlanmaktadır. Tali mineral olarak magnetit, ilmenit, apatit, sfen, zirkon ve pirit bulunabilir.

Kimyasal bileşim olarak; %56.8 SiO_2 , %16.7 Al_2O_3 , %3.2 Fe_2O_3 , %4.4 FeO , %4.2 MgO , %6.7 CaO , %3.4 Na_2O , %2.1 K_2O ve %1.4 H_2O içerir.

Andezit: Diyoritin önemli yüzey kayacı olup onunla aynı mineralojik bileşime sahip volkanik kayaçlardır. Mineralojik bileşimi; plajiyoklas açık renkli bileşenlerin %90-100 (oligoklas, andezin, bazen labrador) 'ünü oluşturur. Mafik mineral olarak hornblend, biyotit, olivin ve piroksen ihtiva ederler. Renkleri koyu gri, siyahtır. Andezitler, dayklar, lav akıntıları nadiren domlar şeklinde bulunurlar.

Ekonomik olarak; Diyoritlerde titanlı demir ve fosfor yatakları görülür. Altere andezitlerde bakır-kurşun-çinko zuhurlarına sık rastlanır. Andezitlerde porfirik (camsı) doku hâkim olduğu için, andezit levhaları parlatılamaz, ancak büyük bloklar halinde üretilebilenler işlenmiş ve işlenmemiş çok değerli yapı taşı ve kaplama taşı olarak kullanılırlar. Yapı taşı ve kaplama taşı olarak eskiden beri güvenle kullanılmaktadır.

Gabro: Gabro grubu kayaçların SiO_2 oranı %45-53 arasında değişir. Yerkabuğu derinliklerinde oluşmuş tiplerine gabro, sık derinliklerde veya yüzeye yakın yerlerde yerleşmiş tiplerine dolerit, diyabaz ve nihayet yeryüzüne kadar ulaşmış tiplerine bazalt denir. Gabrolar; Koyu renkli olup esas mineralleri; bazik plajiyoklas (labrador-bitovnit), mafik mineral olarak piroksen (ojit), olivin ve nadiren hornblend içerirler. Tali mineral olarak; magnetit, ilmenit, sfen, apatit, kromit, zirkon, granat, rutil ve spinel bulunur.

Kimyasal bileşim olarak; %48.4 SiO_2 , %16.88 Al_2O_3 , %2.18 Fe_2O_3 , %5.47 FeO , %9.43 MgO , %12.22 CaO , %2.12 Na_2O , %0.50.65 K_2O ve %1.58 H_2O içerir.

Dolerit: Bunlar, dayk, sil ve küçük masifler şeklinde bulunan intersertal doku gösteren gabronun damar kayaçlarıdır. Bileşimini; plajiyoklas, proksen, olivin, bazen hornblend ve biyotitin oluşturduğu koyu renkli bir kayaçtır.

Diyabaz: Uralitleşme, kloritleşme ve bazen albitleşme gösteren dolerite verilen addır. Kayaç koyu gri, yeşilimsi bir renktedir. Bazı ülkelerde altere olmamış diyabazlara dolerit, altere olmuşlarına diyabaz denilmiştir.

Kimyasal bileşim olarak; %48.9 SiO_2 , %20.8 Al_2O_3 , %2 Fe_2O_3 , %9.4 FeO , %4.4 MgO , %0.8 CaO , %3.1 Na_2O , %1.8 K_2O ve %1.2 H_2O içerir.

Bazalt: Gabroların yüzey kayacıdır ve onlarla aynı kimyasal ve mineralojik bileşimi gösterirler. Bunlar koyu renkli, yeryüzünde en çok rastlanan volkanik kayalardır. Kayaçta fazla miktarda olivinin varlığı onun bazalt olduğuna işarettir. Bazı bazaltlarda ise olivin hiç bulunmayabilir. Bazaltlar çok büyük örtü veya damar, bazen kubbe oluştururlar. Soğuma esnasında 4, 5, 6, 7 kenarlı sütunların gelişmesi ile yaygın olarak sütunsu yapı gösterirler. Bu sütunlar soğuma yüzeylerine dik olarak gelişirler. Kuvars genellikle hiç görülmez, fakat %5 den fazla kuvars içerenlere kuvars-bazalt denir. Sanidin bazen az miktarda bulunabilir. Sanidin ve yanında ekseri biyotit ihtiva edenlere trakibazalt denir.

Ekonomik olarak; İlmenit, titanlı magnetit, bakır, nikel, demir sülfürler, bazen pirit ve piritli nabit bakır yatakları gabro tipi kayalar için önemli olabilir. Bakır ve nikel sülfür mineralizasyonları ve bazan platin mineralleri, pirit, bakırlı pirit ve nabit bakır, gabro ve noritler de sık gözükmürler. Gabro ve noritler de kromit yatakları büyük ekonomik değer arzederler. Gabro ailesi çok aranan kayalardandır. Gabro çok sert ve dayanıklıdır. İşlenmiş levha yüzeyi fevkalade parlaktır. Koyu siyah renkli olarak çok dikkat çekici ve talep gören bir taştır. Ama blok veren kütlelere her zaman rastlanmaz. Mineral içeriği ve dokusu nedeniyle aşınma ve atmosfer etkisine dayanıklılığı fazladır. Çok iyi parlatılabilmesi ve güzel renkleri nedeniyle binalarda kaplama ve sütunlarda kullanılır. Ayrıca yol inşaatlarında çok iyi kaldırım taşı ve kırma taş olarak değerlendirilir.

Diyabazlar, çok sert ve dayanıklı oldukları için, benzerleri olan bazalt mıcırıyla aynı yerlerde kullanılırlar. Ama çoğunlukla blok verdiklerinden, değerli sert levha üretimi için çok elverişlidirler ve öyle kullanılırlar. Diyabazlar yol inşaatlarında parke taşı ve kırma taş ayrıca beton katkı malzemesi olarak kullanılırlar. Ayrıca diyabazlar park ve bahçe

uygulamalarında, yürüyüş yollarının döşenmesinde, havuz çevresinde, büyük meydan ve anıtsal alanların yer döşemelerinde, değişik ebat ve kalınlıklarda üretilerek kullanılabilir. Binalarda, terminal, havaalanları gibi sirkülasyonun yoğun olduğu mekânlarda taban döşemesi ve dış cephe kaplama amaçlı uygulamalar da söz konusudur. Dekoratif yada süsleme amaçlı olarak mezar taşlarında, çeşitli süs eşyaları ve mutfak tezgahı gibi uygulamalarda mevcuttur. Bazaltlar, çok sert ve dayanıklıdır. Bunların sağlamlık ve dayanıklılığı piroksenlerin dağılım ve dokusuna bağlıdır. Onun için, büyük basınç altında kalacak zeminlerdeki beton dökümlerinde, bazalt mıcırı kullanılır. Demiryollarının tabanı da yine onun çakıllarıyla kaplıdır; balast malzemesi diye adlandırılır. Bazaltların tek problemi, blok verecek kütlelerine pek rastlanmamasıdır. Çünkü bazalt levhaları yüzeyde birkaç metre kalınlık teşkil ederek akmışlarsa, bunlardan blok alınmaz. Ayrıca nefelin ve lösit iri kristal olarak yer aldığı kolayca ayrışmakta ve kayacın sağlamlığı azalmaktadır. Nefelin bazalt türündeki kayalar, uzun süre güneşte kaldıklarında gri renkli lekeler oluşmakta ve bu lekeler yıldız şeklinde çatlamakta ve kayaç küçük taneler halinde dağılmaktadır.

Bazalt lavları, içerdikleri gazları soğuma esnasında dışarıya atarken, içinde düşey çizgiler şeklinde boşluklar oluşur. Ancak taban kısmındakiler lavın birleşmesiyle yok oldukları halde, üsttekiler varlıklarını korurlar. Bu bakımdan, bir lav akıntısının üst kısmı deliklidir. Bu kısımdan alınan bazalt örnekleri kesilip cilalanınca parlarlar, ama bu delikler parlak görünüşü azaltır. Alt kısımlarından ise siyah renkli ama aynadan daha parlak yüzeyler elde edilir. Diğer bir özelliği ise, gazların çıktığı düşey eksen boyunca bir kırılma kolaylığı kazanmış olmalarıdır. Gözenekler kalmış olsun veya olmasın, yayılma yüzeyinin dikine bazalt blokuna çekiçle vurulduğunda, gazın çıktığı eksenler boyunca bazaltın düz yüzeyle parçalandığı

görülür. Bu özellikten parke üretiminde küçük işletmeciler çok yararlanmaktadır. Ayrıca nükleer reaktörlerin duvarında kullanılan çimentoya katkı malzemesi olarak katılır. Bazaltlar çok defa altıgen sütunlar şeklinde ayrılırlar. Buda bunların yapı taşı olarak kullanılmalarını engeller. İnce sütunlar sınır taşı, blokaj malzemesi olarak kullanılabilir. Yine parke taşı, yol inşaatlarında ve ayrıca beton için katkı malzemesidir. Makineleri kolay aşındırdığından işlenmesi pek kolay değildir.

Ultramafik ve Ultrabazikler: Ultramafik ve ultrabazik kavramları arasında bir fark vardır. Ultramafiklerde koyu renkli mineraller (olivin, piroksen, amfibol gibi) hâkimdir. Ultrabaziklerde ise silise doymamış mineraller (nefelin, lösit vs.) hâkimdir.

Peridotitler: Kimyasal bileşimlerinde %45 den az SiO_2 bulunur. Açık renkli mineral ya hiç yoktur, ya da çok azdır. En çok %10 olabilir. Bu ailede esas mineral olarak olivin, piroksen, bazen hornblend, biyotit ve çok az bazik plajiyoklas bulunabilir. Tali mineral olarak; kromit, magnetit, ilmenit, pirit ve granat bulunur.

Serpantinit: Serpantin minerallerince ($\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) zengin kayalara serpantinit denir. Başlıca serpantinit mineralleri; krizotil, antigorit ve lizardittir. Bu mineraller hacim olarak %20 ila %100 arasındadır. Ayrıca granat, spinel, özellikle tremolit/aktinolit, şeklinde amfibol mineralleri, talk, klorit, manyetit ve özellikle manyezit, dolomit, ender olarak kalsit şeklinde karbonat mineralleri de içerebilirler. Bu kayalar gri, yeşil ve siyah arası renklere sahip olup masif kayalardır. Bozunmuş serpantinitler koyu kahverengimsi renkler gösterirler. Dalgalı halde bulunan, beyaz ve yeşil renkleriyle yılan derisini hatırlatanlar, halk dilinde yılan taşı olarak bilinirler. Kimyasal bileşim olarak; %40 SiO_2 , %3.4 Al_2O_3 , %5.3 FeO , %39.2 MgO , %0.86 CaO ve %12.1 H_2O içerir.

Ekonomik olarak; kromit yatakları, platin, nikel, magnetit ve elmas yatakları ultramafiklerle ilgilidir. Serpantinitler, fazlaca su emdiklerinden kolayca dağılırlar. Bundan dolayı büyük kütleler halinde oldukları halde, güç blok verirler ve işe yaramazlar. Ancak sağlam kütlelerinden elde edilen levhalar, güzel görünüşlü ve dayanıklı olduklarından, mermercilikte önemlidir. Aşınmaya karşı dayanımlı olanları dış cephe kaplama, yer döşemesi, kapı ve sütunlar, şömine, mobilya, süsleme, masa, biblo, süs eşyaları yapımında kullanılırlar.

Piroklastikler: doğrudan volkan bacalarından dışarıya atılan yani püskürtülen kırıntıların karada veya su altında depolanmalarıyla oluşan kayalardır. Blokların bir araya gelerek tutturulmaları sonucu oluşan kayalara volkanik breş, bombaların tutturulmuş olanlarına ise aglomera adı verilir. Küllerin yere düştükten sonra bir araya gelerek tutturulmaları (çimentolanmaları) sonucu tüfler oluşur. Tüflerin en büyük özelliği, içerdikleri silisyum, alüminyum, demir, magnezyum, alkali ve toprak alkali minerallerin oksitlerini bünyelerinde birbirlerinden ayrılmış kristaller halinde değil de, birbirlerine karışık, ayırt edilemez ve camı halde tutarlar. Tüflerin bileşenleri bünyede camı halde bulunmakla beraber, bu camı kütleler çok ufak parçalardan oluşmuştur. Çünkü büyük bir basınçla atmosfere püsküren gaz içerikli lav, gazın ve havanın etkisiyle çok ufak parçalara ayrılarak, kül, hatta daha da ufalanarak toz haline gelmektedirler. Tüfler, içerdikleri malzemenin cins ve miktarlarına ve epiklastik malzemenin miktarına göre vitrik (cam) tüf, litik tüf ve kristal tüf olarak isimlendirilirler.

İgnimbrit (Kaynak Tüf): İgnimbritler, asidik magmalardan meydana gelen bir tür piroklastik kayadır. Volkanik patlamaların ardından, magmatik gazlar ve sıcak kırıntılar, patlama merkezlerinden uzaklaşarak büyük bir bulut oluşturur. Bu buluttaki parçacıklar birbirine çok yakın olurlar ve

ağırlık etkisiyle farklı bir sıralanma göstermezler. Bu nedenle, ignimbritlerde bloklar, lapilli ve kül, düzensiz bir şekilde dağılmıştır. Kızgın bulutların içeriğinde bulunan ince lav damlacıkları ve kül, soğuma sırasında kaynaklanarak birbirlerine bağlanır. Kaynak tüflerinin en karakteristik özelliği, bu sıcak, yarı plastik damlacıkların birleşerek sertleşmesi ve soğurken yassılaşmasıdır. Kaynaklı tüflerde, lava benzeyen akıntı bantlaşması görülebilir ve bu kayalar, soğuma sırasında kazandıkları kolonsal yapılar nedeniyle lavlara oldukça benzerlik gösterir.

Ekonomik Değeri: Piroklastik kayalar, özellikle maden yataklarının yerleşimleri için büyük öneme sahiptir. Bu kayalar, çok gözenekli yapıları nedeniyle mineralize eriyiklerin barındığı ve taşındığı doğal rezervuarlar işlevi görür. Ayrıca, kıvrımlanma ve tektonik hareketler sonucu, tüfler kırıkları kolayca kazanabilir ve bu kırıklar mineralizasyona zemin hazırlar. Bu kayalar, alterasyona uğrayarak ya da metazomatik değişim geçirerek daha zengin mineral yatakları oluşturur. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde, dasit türleri içindeki bakır, kurşun ve çinko yatakları, piroklastik kayalar içinde yer alırken, masif sülfür yataklarının da tüf ve breşler arasında bulunması yaygındır.

İgnimbrit ve tüfler, taş oymacılığı açısından oldukça önemli kayalardır. Gözenekli ve yeterince sert olmaları nedeniyle, çeşitli taş işleme teknikleriyle şekillendirilebilirler. Kimyasal etkilere karşı dayanıklı olmaları, dekoratif amaçlarla kullanımlarını daha da artırır. Özellikle, bu kayaların pastel tonlarındaki renkleri, estetik açıdan büyük değer taşır. Taşların işlenmesi parlatılamaz olsa da, mermer gibi değerlendirilebilirler. Son yıllarda tüflerin, hem iç hem dış mekânlarda dekorasyon amacıyla kullanımı artmıştır. Ayrıca, doğadan kolayca çıkarılabilen ve taş atölyelerinde işlenebilen bu

kayaçlar, taş kesim ve işleme sektöründe “dekoratif taşlar” olarak sınıflandırılmaktadır.

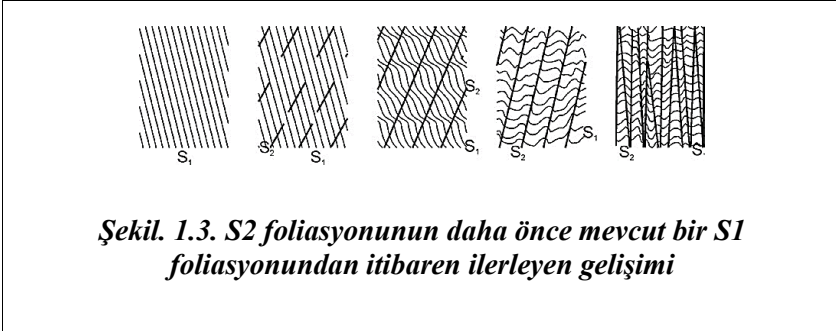
İgnimbritlerin Kullanım Alanları: İgnimbritler, özellikle pomza içeren kaynak tüfleri, hem ısı yalıtımı hem de estetik kazandırma amacıyla binalarda tercih edilmektedir. Türkiye’de, bu kayaçlar halk arasında “köyke taşı” ve “Nevşehir taşı” olarak bilinir. Kapadokya bölgesindeki sarı ve bej tonlarıyla bilinen Nevşehir Taşı, yaygın olarak kullanılır ve işlenmesi oldukça kolaydır. Ancak, ignimbritlerin gözenekliliği ve yüksek su emme kapasitesi nedeniyle dış cephelerde çok tercih edilmez. Bunun yerine, iç mekânlarda, özellikle ısı yalıtımı ve estetik amaçlarla kullanımı yaygındır. Ayrıca, ekonomik olması ve yapı malzemesi olarak sağlamlık sunması sebebiyle, beton duvarlara göre daha tercih edilir bir seçenek olarak öne çıkar.

3. METAMORFİK KAYAÇLAR

Daha önce oluşan magmatik, sedimanter ve yine metamorfik kayaçlar farklı basınç ve sıcaklık şartlarına sahip olan bir ortamda kararlı kalamayıp yeni ortam şartlarına uyum sağlamak üzere başkalaşım gösterirler. Kayaçları oluşturan mineraller yeni ortamda kararlı kalabilecek minerallere dönüşürler. Bu değişikliklere metamorfizma (veya başkalaşım) ve bu şekilde oluşan kayaçlara ise metamorfik kayaçlar denir. Düşük dereceli metamorfik kayaçların birbirine paralel düzlemler boyunca ve kolaylıkla yaprak-yaprak veya dilim-dilim ayrılmaları önemli bir özelliktir. Foliasyon veya şistozite adı verilen bu özellik metamorfik kayaçları tortul ve magmatik kayaçlardan ayırır.

Foliasyon; metamorfik kayacı oluşturan belirli minerallerin birbirine paralel düzlemler, merccekler veya bandlar teşkil edecek şekilde dizilmeleri, sıralanmaları ile meydana

gelen bir yapı (doku) şeklindedir. Şistozite ise, değişik boyuttaki mineral tanelerinin tam paralel veya yarı-paralel biçimde dizilmeleri, sıralanmaları sonucu meydana gelen bir doku biçimidir. Foliasyonla şistozite çoğu kez birlikte gelişirler ve birbirlerine paraleldirler (Şekil 1.3).



Metamorfik kayalardan özellikle ayrılmış şistler, şistozite düzlemleri boyunca kolayca parçalandığından mühendislik işlerinde malzeme olarak kullanılmaz. Ayrılmamış, ince levhalara ayrılabilen, ayrılma yüzlerinin düz, bileşim ve doku bakımından homojen ve içlerinde pirit, kalsit, manyetit vb. gibi tali mineraller bulundurmeyen arduvaz ve fillitler kaplama malzemesi olarak kullanılabilirler.

3.1. Metamorfik Kayaçların En Yaygın Türleri ve Ekonomik Önemi

Mermer: Mermerler, kalsit ya da dolomit kristallerinden meydana gelen karbonat kayaçlarıdır ve genellikle ince ya da iri taneli bir yapıya sahiptirler. Kireçtaşlarının metamorfizma süreciyle kristalleşmesi sonucunda oluşurlar. Mermerlerdeki kristallerin boyutu genellikle 0.25 mm'nin üzerinde olabilir; ancak, dayanıklılığı artırmak için genellikle daha küçük kristalli mermerler tercih edilir. Kristallerin büyümesi mermerin mekanik dayanıklılığını azaltabilir. Mermerlerde, ana bileşenler

olan kalsit ve dolomitin yanı sıra limonit, hematit, muskovit, wollastonit, biyotit, granat, epidot, sfen, pirit ve grafit gibi karbonat dışı mineraller de %5 oranında bulunabilir. Bu safsızlıklar genellikle mermerin değerini düşürmez; aksine, farklı renk tonları ve desenler oluşturarak estetik değerini ve bazen de dayanıklılığını artırır. Tek renkli mermer oldukça nadir bulunur; çoğunlukla, bir temel rengin yanında farklı renk tonlarıyla dalgalı ya da çizgili bir görünüm sergiler. Dalgalı desenler genellikle kayaç henüz mermerleşmeden önce, kalker çamuruna renk verici sıvıların karışmasıyla oluşur. Bu süreç, başlangıçta renkli kalkerin, daha sonra da renkli mermerin ortaya çıkmasına neden olur. Çizgili desenlerin oluşum mekanizması ise farklıdır. Kalker veya mermer, tektonik hareketler sonucunda çatlayabilir ve bu çatlaklara çoğunlukla kalsiyum karbonat içeren sıvılar dolar. Renkli sıvılar, çatlakların dolması ve kristalleşme süreci ile kalker veya mermerle bütünleşir. Bazı durumlarda çatlama tekrar eder ve farklı yönlerde yeni dolgu maddeleri eklenerek benzersiz desenler ortaya çıkar. Kalsitin sertliği 3 iken, sıkışma etkisiyle mermerin sertliği 3.5'e yükselir. Dolomitik mermerlerde magnezyum karbonat içeriğinden dolayı sertlik 4'e ulaşır. Mermerlerin yoğunluğu genellikle 2.7 ile 3 g/cm³ arasında değişir. **Ekonomik olarak;** Mermerler, iç ve dış mekânlarda kullanılırlar. Binaların kaplamalarında, döşemelerde, merdivenlerde, biblo, şömine ve süstaşı olarak kullanılırlar. Diğer kullanım uygulamaları olarak; yüzme havuzları donanımı, yüzme havuzları kaplamaları, çevre düzenleme, sütun, küpeşte, kemer, anıt, heykel, park ve gezinti yerleri donanımı, kilimli parke taşları ve bordürleri, çim ve şev taşları, tretuar ve gezinti yolları kaplamaları, oturma bank ve grupları, kent mobilyaları, meydan ve peysaj havuzları, çeşmeleri ve fiskiyeler, bahçe ve park barbeküleri, mezarlıklar ve mezar taşları, hediyelik eş-ya, diğer işlenmiş dış mekân doğaltaşları.

Kalkıştılar: Silisli, killi ve karbonatlı kayaların metamorfizmasıyla oluşur, gayet güzel foliasyon gösterirler. Ana kayaç hemen hemen saf kireçtaşıdan oluşuyorsa bunların metamorfizması sonucu mermerler oluşur ki, bunlarda şisti doku yoktur. Bunlar içinde kalsit çoğunluktadır. Ayrıca, köken kayaçtaki kuvars ve kil minerallerinin yaptığı reaksiyonlar sonucu amfibol, klorit, sfen gibi minerallere rastlanır. **Ekonomik olarak;** Kaldırım taşı ve dekoratif taş olarak önemlidirler.

Arduvaz (Sleyt): Diajenez sonucu oluşan yapraksı dokulu killi kayaçlar (şeyl) ve fillitler arasında bulunan çok düşük dereceli metamorfik kayaçlardır. Mikroskop altında görülebilen bir dokuya sahiptir ve bu doku kayaçta devamlıdır. Dokunun kayaç içinde devamlı olması nedeniyle kayacı herhangi bir yerinden ince, büyük levhalara ayırmak mümkündür. Arduvazlardaki yapraklanma genellikle orjinal (ana) kayacın yapraklanmasına uygun değildir. Renkleri gri, mavimtrak ve siyahtır. Ekseri içinde küp şeklinde pirit kristalleri bulunur ve siyah yüzeyi üzerinde benekler halinde parıldarlar.

Kayaca vurulunca boğuk ses çıkarırsa bu o kütlenin içinde boşlukların olduğunu gösterir. Dolayısıyla yoğunluğu düşüktür. Ocaklardan çıkan Arduvazlar şistoziteleri doğrultusunda levhalara ayrılırlar. Kayaç bileşenini çok ince mika pulları (serisit), silt boyundaki kuvars tanecikleri, karbon ve hidrokarbon seviyeleri meydana getirir. İçerisinde bulunan karbon ve hidrokarbon nedeniyle kayaç gri siyah renkli ve yumurta çürüğü kokusu verir. Siyah renk ayrıca kayaç içinde bulunan opak minerallerden ileri gelir. Kloritin kayaç içinde çoğalması kayaca yeşilimsi renk verir. Kırmızı ve mor renkliler hematitlidir. Kayraktaşı olarak da bilinen bu yapı taşları yüzeyindeki siyah renkli dentritik yapı, fosil görüntüsü verir.

Ekonomik Kullanım Alanları: Bu kayaçlar, çeşitli ekonomik ve pratik kullanım alanlarına sahiptir. Çatılarda kaplama malzemesi, yol döşemesi, elektrik panolarının muhafazası ve okullarda karatahta yapımı gibi işlevlerde yaygın olarak kullanılır. Ancak, bu tür kayaçlarda pirit kristallerinin bulunmaması önemlidir. Çünkü pirit zamanla oksitlenerek ayrışır ve bu süreç taşa boşluklar oluşturarak malzemenin dayanıklılığını azaltır. Benzer şekilde, kalker içeren arduvaz levhalar da uzun vadede aşınmaya karşı dayanıksız hale gelir ve delikler oluştuğu için pratik bir kullanım sunmaz. Arduvaz, özellikle estetik görünümü ve dayanıklılığı sayesinde binalarda dekoratif malzeme olarak tercih edilmektedir. Almanya ve Avusturya gibi ülkelerde, tarihi yapıların çatılarında kiremit yerine arduvaz levhalar kullanılmıştır. Arduvazın en önemli özelliklerinden biri, atmosfer koşullarına ve aşınmaya karşı yüksek direnç göstermesidir. Ayrıca, gözenekli yapısının olmaması, büzülme veya eğilme yapmaması gibi avantajlar sağlar. Modern yapılarda arduvaz; genellikle dış cephe kaplaması, pencere kenarları, eşikler ve taban döşemelerinde estetik bir kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla, doğal formlarda ya da belirli ölçülerde kesilerek düzenlenmiş halde kullanılabilir. Ayrıca, arduvazın bolca bulunduğu bölgelerde yapı taşı olarak da kullanıldığı görülmektedir. Bu durumlarda, kayaçlar genellikle rastgele boyutlarda ya da tuğla formunda kesilerek değerlendirilir.

Fillit: İnce taneli ve ince yapraklı bir kayaçtır. Pulsu mineral olarak başlıca serizit (mika) içerir. Serizit nedeniyle, yapraklanma yüzeyleri ipek parlaklığındadır. Kristallerinin boyutları, killi şistlerinkinden büyük, mika şistlerinkinden küçüktür. Kayaç içerisinde serizit + biraz klorit + biyotit bulunur. Bunların toplamı %50 den azdır. Diğer önemli mineral kuvarstır. Filitlerde %20 kadar albit bulunur.

Şist: Orta ilâ iri taneli, şistozite (yapraklanma) gösterirler. Taneler gözle ayırdedilebilir. Kayaçta %50 den fazla bulunan mineral kayaca ismini verir. Örn, kalkışist, mikaşist, kloritşist gibi. Şistlerde feldspat oranı en fazla %20 dir. Eğer, feldspat daha fazla ise, gnayslara geçilir.

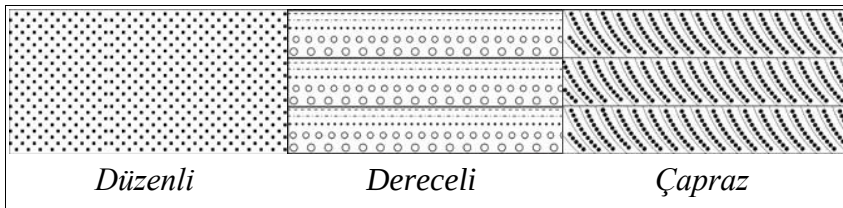
Ekonomik olarak; Arduvazın kullanıldığı birçok yerde fillit ve şistler kullanılmaktadır.

Gnays: Orta iri ilâ, iri taneli metamorfik kayaçlardır. Kökeni granit veya granodiorittir. Aynen onlar gibi açık renkli bol kuvars ve feldspattan ibaret olup, az oranda muskovit, biyotit, hornblend, piroksen ve amfibol içerir. Ancak en önemli özelliği, bünyesini teşkil eden kuvars ve feldspatların metamorfizma etkisiyle değişime uğrayarak uzamış kristaller haline gelmeleri ve paralel katlar halinde yerleşmeleridir. Metamorfizmaya bağlı olarak gelişen bir diğer olay ise, kristallerin irileşmesi ve bazılarının göze, bademe veya merceğe benzer şekiller almasıdır. Mikalar, hornblend bandları boyunca cm'den dm'ye kadar kalınlıklarda dilimlere ayrılır. Bu kayaçlarda foliasyon düzlemleri cm ile dm arasındadır ve feldspat oranları %20'den fazladır. Mikaların belirli düzlemler boyunca yoğunlaşması kayacın dayanıklılığını azaltır ve bu düzlemler boyunca kayaca nem nüfuz eder ve donma tehlikesi artar. Kimyasal bileşim olarak; %70.2 SiO₂, %3.7 Al₂O₃, %1.1 Fe₂O₃, %3.1 FeO, %1.3 MgO, %3.1 CaO, %3.3 Na₂O, %2.7 K₂O ve %0.7 H₂O içerir.

Ekonomik olarak; Büyük bloklar çıkarılmaya elverişlidirler. Kristal dağılımı bakımından, plakaları granitlerden daha güzel görünür. Ancak granitlerden daha yaşlı olan gnayslar, kristallerinin dizilimi yönünde hava ve su şartlarıyla bozuşmaya uğramışlarsa, plaka almaya elverişli olmayabilirler. Gnayslar, kaldırım kaplamasında ve dokusuna göre inşaat işlerinde kullanılabilir.

4. SEDİMANTER KAYAÇLAR

Yerkabuğunu oluşturan magmatik, metamorfik ve daha önce oluşmuş sedimanter kayaçlar, yüzey koşullarında fiziksel veya kimyasal ayrışmaya uğrayarak sediman adı verilen malzemeleri oluşturur. Bu ayrışma ürünleri, çeşitli çökelme ortamlarında birikerek başlangıçta gevşek bir yapıda bulunur. Zamanla, üzerlerine biriken yeni sedimanların ağırlığı, sıcaklık artışı ve gözenek çözeltilerinin etkisiyle bu gevşek tortular birbirine bağlanır, sıkışır, çimentolanır ve kompakt bir forma dönüşür. Bu süreç, “diyajenez” olarak bilinen fiziksel ve kimyasal değişiklikler yoluyla sedimanter kayaçların meydana gelmesini sağlar. Sedimanter kayaçlar genellikle tabakalı bir yapıya sahiptir ve bu tabakalar, yüzeylerinde, içinde veya altında sedimanter yapılar barındırır. Başlangıçta yatay bir şekilde çökelen tabakalar, zaman içinde gerçekleşen tektonik ve yapısal hareketlerle eğik, dik, ters ya da devrik konumlara dönüşebilir. Tabakaların özellikleri, içerdikleri tanelerin birbiriyle ve tabaka yüzeyleriyle olan ilişkilerine bağlıdır. Bu nedenle, düzenli tabakalanma, dereceli tabakalanma ve çapraz tabakalanma gibi karakteristik yapılar ortaya çıkabilir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. İç yapılarına göre bazı tabaka türleri

Karbonatlı, killi ve bazı kumlu sedimanter kayaçlar genellikle eşit boyutta aynı cins tanelerden meydana gelmekte olup bu tip tabakalara düzenli tabaka denilmektedir. Farklı boyuttaki tanelerin iyi karışması da düzenli tabakaları oluşturur.

Tabakalarda tane boyu tabaka altından üstüne doğru küçülürse bu tip tabakalara ise dereceli tabaka denilmektedir. Bazen bu durumun tersi yani tane boyunun tabandan tavana büyümesi görülmektedir. Bu tip tabakalara ise ters dereceli tabaka adı verilmektedir. Tabaka içindeki tanelerin dizilişi tabaka alt ve üst yüzeyine paralel olmayıp belirli bir açı ile bulunursa bu tip tabakalara da çapraz tabaka denilmektedir. Çapraz tabakalar levha (düzlemsel), mercek (teknemsi) veya kama şeklinde olabilmektedir.

Sedimanter (Tortul taşlar) kayaçlar; kırıntılı (konglomera, çakıltaşı, kumtaşı, şeyl), kimyasal (kireçtaşı, traverten, oniks) ve organik (fosilli kireçtaşı, kömür) olmak üzere 3 ana gruba ayrılır.

Sedimanter kayaçların kırılmaya ve basınca karşı gösterdikleri direnç içsel sürtünme kapasitesine ve içlerinde bulunan minerallerin suya karşı olan hassasiyetine bağlıdır. Buna göre kil, marn, jips ve kalker çimentolu kum ve konglomeralar sulu ortamlarda basınca karşı az direnç gösterirken, silis çimentolu olanlar dayanıklı olup, granit ve bazalt kadar sağlamdır. Basınca karşı direnci az olan ayrık veya az çimentolanmış kayaçların poroziteleri ve dolayısıyla su depolama kapasiteleri fazladır. Temel ve baraj inşaatlarında kireçtaşlarındaki çatlak sistemleri ve erime boşlukları ayrıntılı bir şekilde araştırılmalıdır. Bu cins inşaat için çatlak ve erime boşluğu olmamalı veya çok az bulunmalıdır. Kil ve şeyller, içerlerindeki kil minerallerinin cinsine göre, az veya çok miktarda, su emdiğinden gevşemekte olup dirençleri ve taşıma güçleri azalır. Kuru iken sahip oldukları sağlamlık kaybolur.

4.1. En Yaygın Sedimanter Kayaclar ve Ekonomik Önemleri

Traverten: Karbonatlı kaynak sularının çökmesi sonucu oluşan, tabakalı yapılar gösterebilen kayaçlardır.

Travertenlerin meydana gelmesi için yer altı suyunun yüksek asidik bir bileşime sahip olması gerekir. Bu asidik durum, atmosferden gelen karbondioksit ve çevresel minerallerin etkisiyle sağlanır. Sıcak su kaynağının kireçtaşını eritmesi ve bu eriyen maddeleri yer altındaki çatlaklar ve kırıklara taşınması, traverten oluşumuna yol açar. Yüksek sıcaklık ve fazla suyun etkisiyle tüf veya kalker tüfleri de meydana gelebilir. Travertenlerin belirgin özelliği, yüksek gözenekliliği ve laminalı dokularıdır. Bu kayaçlar, genellikle düşük yoğunluklu ve hava ile su geçişine imkan tanır. Türkiye'deki bazı travertenler, göl kalkerleri veya yer yer sıcak suyun etkisiyle oluşmuş kireçtaşlarıdır. Gerek stromatolitik yapılar, gerekse bitki sapları bu kayaçların göl ortamlarında ya da lagünlerde oluştuğunu gösteren işaretlerdir. **Ekonomik olarak;** Travertenler, inşaat sektöründe özellikle dekoratif amaçlı geniş bir kullanım alanına sahiptir. Parklarda, mezar çevrelerinde, yol kenarlarında, bina cephelerinde ve iç mekanlarda tercih edilmektedir. Az gözenekli travertenler, işlenmesi ve kesilmesi kolay olduğundan daha ekonomik olarak üretilir. Ayrıca renk çeşitliliği, kaplama işlerinde estetik bir tercih oluşturur. Bu kayaçlar, dış mekanlarda dekoratif duvar taşları, zemin kaplamaları ve çeşitli peyzaj düzenlemeleri için kullanılır.

Oniks Mermeri: Oniks mermeri, yer altı suyu tarafından çözülen kalsiyum karbonatın, ince bantlar halinde yeryüzüne çökmesi sonucu meydana gelir. Bu kayaç, özellikle çözünmüş minerallerin hareketiyle oluşur ve bu nedenle oluşum süreci yavaş gerçekleşir. Oniks, adını kuvars minerali olan oniksten alır, ancak yapısı ve görünümü, mermerle oldukça benzerdir. Mermerin genellikle levhalar halinde işlenmesi ve dekoratif amaçlarla kullanılması nedeniyle bu kayaçlara oniks mermeri denir. Oniks mermerinin en belirgin özelliği, onu özgün kılan ince bantlar ve bu bantların birbirinden farklı renklerde olmasıdır. Bu renkler, genellikle beyaz, kırmızı, sarı, yeşil gibi

tonlarda görülür. Bu tür kayaçlarda, mineral bileşenler arasında yer alan aragonit ve kalsit, kayaçlara şeffaflık ve parlatılabilirlik özellikleri kazandırır. **Ekonomik olarak;** Türkiye'nin belirli bölgelerinde çıkarılan oniks mermerleri, genellikle iç mekan dekorasyonunda kullanılır. Levha halinde işlenebilen bu mermerler, zemin döşemelerinde, duvar kaplamalarında, banyo ve mutfaklarda yer karoları olarak kullanılabilir. Ayrıca çeşitli süs eşyaları, sigara küllükleri, vazolar ve heykel gibi küçük objeler üretmek için de uygundur. Oniks mermeri, estetik görseelliği ve dayanıklılığı sayesinde, iç mekanlarda önemli bir yer tutmaktadır.

Karbonatlı Kayaçlar: Karbonat kayaçları, başta kalsit, dolomit, aragonit ve magnezyumlu kalsit gibi minerallerden oluşur. Bu kayaçlar, bazen karbonat mineralleri dışında başka bileşenler de içerebilirler. Yeryüzündeki sedimanter kayaçların yaklaşık %10'unu karbonatlı kayaçlar oluşturur. Bu kayaç grubu, kireçtaşları, dolomitler ve marnlar gibi farklı türlere ayrılır. Kalsit minerali baskın olan karbonatlar (%50'den fazla kalsiyum karbonat, CaCO_3 içeren) kireçtaşı olarak bilinirken, dolomit minerali yoğun olan karbonatlar dolomit ya da dolotaş adıyla anılır. Karbonat bileşenleri olarak kalsit veya aragonit bulunabilir.

Kireçtaşları (Kalkerler): Kireçtaşları, %90'dan fazla kalsiyum karbonat içeren kayaçlardır. Bu kayaçlar, genellikle sedimanter havzalarda çökeltme yoluyla oluşur ve iki ana bileşene sahiptir. İlk olarak, ortokimyasal bileşenler bulunur; bunlar, mikrokristalli kalsit çamurundan oluşan mikrit ve daha büyük kristalli kalsit çimentodan meydana gelen sparittir. İkinci olarak, allokimyasal bileşenler, yani taşınmış parçalar bulunur. Bunlar arasında intraklast (karbonat kırıntıları), fosil (canlı kalıntıları), pellet (mikrokristalin kalsit taneleri) ve oolit (konsantrik yapıli karbonat taneleri) yer alır. Kireçtaşlarının bileşenlerine ve bunların bağlayıcı türlerine göre

isimlendirilirler. Örneğin, biyomikrit, oosparit ve biyointramikrit gibi adlar kullanılabilir.

Dolomitler: % 90-100 arasında $MgCO_3$ ve %0-10 arasındaki oranda $CaCO_3$ kapsayan kayalara denir. Bu terim hem mineral ve hemde kayaç için kullanılır.

Dolomitler, H_2SO_4 'e karşı tepki göstermezler. Kireçtaşları ise tepki gösterirler. Dolomitlerin parlatılmış yüzeyleri üzerine alizarin kırmızısı sürüldüğünde kayanın rengi değişmez. Kireçtaşı üzerine sürüldüğünde ise, kireçtaşı kırmızılaşır. Ayrıca, dolomitler kırıldığında yumurta çürüğü kokusu verirler. Kireçtaşları ise bu kokuyu vermezler. Bir kireçtaşının dolomitleşmesiyle gözeneklilik %10 artar. Herhangi bir kireçtaşı dolomitleştiği gibi, bir dolomit de kireçtaşına dönüşebilir.

Marn: %35-65 arasında değişen oranda kil kapsayan kireçtaşlarına marn denir (Şekil 2.10). Marn çoğunlukla beyaz, gri veya kahverengidir; kırmızı ve siyahı da vardır. Marn nemli iken kil kokusu verir. Kil fazla ise, killi marn; kalker fazla ise, kalkerli marn denir. Marnlar dolomitli, jipsli, bitümlü ve kumlu da olabilirler. Killi kireçtaşları bazan istiridye ve midye gibi bol fosil içerirler ki bunlara halk arasında küfeki taşı denir.

Açık bej, açık sarı gri tonlarda, gözenekli, bol fosilli ince tane görünümlü küfeki taşı aslında marn dır. Ocaktan çıktığı anda yumuşaktır ve işlenmesi çok kolaydır. Havayla temastan sonra nemini kaybederek havadaki karbondioksidi bünyesine alarak sertleşerek mukavemet kazanmasıdır. Aynı zamanda yazın serin, kışın dondurucu soğuğu absorbe ederek sıcak tutmasıyla iklimatik bir özelliğe sahiptir. **Ekonomik olarak;** Bu kayalar, yapıtaşı, çimento hammaddesi olarak kullanılırlar. Kireçtaşlarının fazla sert olmamaları, kolayca işlenebilmeleri, çok yaygın olmaları nedeniyle her tür yapıda masif veya kesme taş halinde yararlanılır. Yoğun ve güzel renkli olanları

cilalanarak binaların iç ve dış kaplamalarında kullanılır. Kırılarak yollarda blokaj ve mıcır olarak, ayrıca özel ocaklarda yakılarak kireç yapımında kullanılır. Saf kireçtaşları sönmemiş kireç, killi kireçtaşları ise çimento sanayiinde kullanılır. Bazan marn ile karıştırılarak çimento endüstrisinde kullanılır. Ayrıca petrol ve doğal gaz ve su için hazne kaya olabilmektedir. Dünyadaki petrol rezervuarlarının % 50'sine yakın bir kısmı karbonat kayaçlar içindedir. Karbonat kayaçlarının gözenekliliğinin ve geçirimliliğinin yüksek olması ve karbonat minerallerinin kolayca reaksiyona girmelerinden dolayı bazı cevherler için uygun yan kayaçlardır. Ayrıca bol miktarda kireçtaşı ve dolomit ziraatte kullanılmaktadır.

Küfeki Taşı: Roma, Bizans, Osmanlı, Selçuklu dönemlerinde ve günümüzde birçok mimari eserde yapı taşı olarak kullanılmıştır. Bizanslıların Ayasofya ve Topkapı surları inşası ile Osmanlı döneminde su kemerleri, Süleymaniye Külliyesi'nin yapımından beri, İstanbul'un estetiğini oluşturan tüm yapıların içinde ve dışında daima temel yapı taşı olmuştur. Bazıları da bu taşı İstanbul taşı olarak bilmektedir. Mimar Sinan 1538-1588 arasında yaptığı 447 eserin birçoğunda bu taşı kullanmıştır.

Konglomera ve Sedimanter Breşler: Kırıntılı kayaçlar içinde en iri taneli olan gruptur. Çakıl, kumdan büyük, yuvarlak ve/veya köşeli birbiriyle tutturulmamış kırıntılardır. Miktar itibarıyla %50'den fazla tane ihtiva eden, tane boyları 40-2mm. arasında değişen, mevcut taneleri genellikle yuvarlaklaşmış olan ve bu taneler çimento veya matriks denilen bir ara madde ile bağlanmış sedimanter kayaç çeşidine konglomera veya çakıltaşı denilir. Eğer taneler yuvarlaklaşmayıp köşeli olursa böyle oluşumlara da sedimanter breş denir. Çimento; silis, karbonat, demiroksit ve evaporit olabilir.

Taneler yaklaşık eş boyutlu ise homojen, farklı büyüklükte ise heterojen konglomera adı verilir. Konglomera ve breşler çok ince taneli bir matriks içinde bulunabilirler.

Ekonomik olarak; Çakıl taşları blok şeklinde kullanılabilir. Kireçtaşı gibi yumuşak çakıl içeren konglomeralar ince plakalar halinde kesilerek kaplamada kullanılabilir. Blok veren karbonat çimentolu çakıl taşlarından mermer olarak yararlanılabilir. Ancak, çakılları kuvars veya magmatik kökenli ise, kesilmeleri zor olur. Şayet şist parçalarından ibaretse, büsbütün elverişsizlerdir. Çünkü şistler kolayca ince levhalara ayrılabilirdiklerinden, kesilişten sonra o kısımlar pürüzlü ve parçalanmış gözüktür. Hatta yer yer kopup, boşluklar bırakabilirler. İdeali, kalker çakıllı yani breş olmalarıdır. Karbonat çimentonun rengiyle, kalker çakıllarının renklerinin farklılığı, taşa ayrı bir güzellik katar. İstanbuldaki birçok Osmanlı dönemi câmîlerinin sütunları, bu karbonat çimentolu konglomeralarla yapılmıştır. Bunlarda görülen kırmızı renk, çimento maddesine demir oksidin katılmasından ileri gelmektedir.

Kumtaşları: Bu kayaçlar, önemli bir sedimanter kaya grubudur. Tane boyu 2 mm-1/16 mm arasında değişen kırıntı topluluğuna kum, çimento ile tutturulmuşlarsa kumtaşı denir. Başlıca bileşenleri kuvars, feldspat ve kayaç parçalarıdır. Kum ya da kumtaşı içindeki taneler değişik kökenli olabilirler. Bunlar ya karadan türemedir, yani önceki kayaçların parçalanarak bir miktar taşınmaları sonucu oluşurlar. Dolayısıyla kaynak kaya çökeltme ortamının dışında bir yerdedir. Ya da karbonat sedimantasyonunun mevcut olduğu denizel bir havzada, aynı havzaya ait CO_3 ' lerin parçalanarak bir miktar taşınmaları ve aynı havza içinde depolanmaları sonucu oluşurlar. Ya da volkanik kökenlidirler. Yani, volkanik patlama sırasında magmaya ait malzeme etrafa kum boyu tane olarak yayılır ve depolanır. Bu üç grup, birlikte belirli oranlarda karışmış olabilir.

Ekonomik olarak; kum, hafif beton yapımında, filtrasyon işlerinde, yapıda harç ve sıvada ve yollarda kullanılır. İnşaat sanayiinde aranan kumun kil ve silt oranı % 5'ten az olmalıdır. Stabilize yol dolgusu ve sıva malzemesi olarak kullanılır. Kumda, mika, organik materyal, silt, kil, kalsit ve demiroksitler istenmeyen bileşenlerdir. Kuvars kumları kilsiz, kireçtaşı ve dolomit kumları yol yapımı gibi alanlarda kullanım için uygundur. En değerli yapı taşlarından biri, kumtaşlarıdır. Bunlar parlatılmadan dekoratif amaçlı kullanım alanı bulmaktadır. Kumtaşı olabilmeleri için kil, kalker veya silis çimentosuyla (çimentolanmaları) birleşmeleri gerekir. Killi olanlar çok dağılgandır; levha almak bir yana, adi yapıtaşı olarak da kullanılamazlar. Kuvarsça zengin ve yük basınç dirençli olanlar zor işlenir. Bu derece sert olanlar, kaldırım taşı, kaplama ve kırma taş olarak kullanılır. Karbonat çimentolu kum taşları çok sağlamdır, iyi kesilirler ve parlatılabilirler. Ancak kalın tabakalı bulunmaları zordur. Bu nedenle, karbonat çimentolu kumtaşları daha çok parke elde etmek için elverişlidirler. Kolay işlenebilmesi ve sağlamlığı iyi olması nedeniyle, kireçli kum taşı yapı taşı olarak çok değerlidir. En iyi gelişmiş örnekleri Kretase ve Eosen yaşlı filiş seviyeleri içinde görülenlerdir. Temiz, demir içermeyen saf kuvars kumları aşındırıcı madde ve cam hammaddesi olarak cam ve seramik endüstrisinde kullanılır. Bunlardan başka, petrol, su, gaz için çok iyi hazne kaya olabilirler.

Siltli ve Killi Kayaçlar: Bu kayaçlar, tane büyüklüğü 0.063-0.002 mm. (1/16mm.) arasında değişen silt boyu taneleri ve 0.002 mm.'den küçük kil boyu klastik taneleri kapsamına alırlar. Başka bir deyişle, gözle ve hatta mikroskopla bile ölçülemeyecek kadar küçük tane boyuna sahip klastik materyalin meydana getirdiği kayaçlara verilen bir isimdir.

Silttaşları (miltası): Silt, Boyları 1/16-1/256 mm arasında olan kırıntılara denir. Silttaşı veya miltası ise,

çimentoyla tutturulmuş silte verilen addır. Siltli kayaçlar mineralojik, kimyasal ve dokusal yönden kumtaşları ile killi kayaçlar arasında bir geçiş teşkil ederler.

Killi Kayaçlar: Kil, üç ayrı anlamı olan kelimedir. Esas olarak kil minerallerinden oluşan plastik bir kayadır. Tane boyu için kullanılan bir deyimdir. Tane boyu 1/256 mm den küçük her türlü kırıntıya kil denir. Bir mineral grubu için kullanılan bir deyimdir. Bunlar, alüminyumlu silikatlardır. Sedimanter kayaçların çoğunluğunu taşıyarak deniz ve göl tabanlarında biriken killi kayaçlar teşkil ederler. Genellikle, killi kayaçların mineralojik bileşimlerini % 48-62 kil mineralleri, % 11-26'sini kuvars ve çört, % 5-11 feldispatlar, % 4-13 karbonatlar, % 0-5 Fe-oksitler, % 2-6 diğer mineraller, organik maddeler oluşturur. Genellikle gri ve açık renkli olan killer, hematit içeriğiyle kırmızı, limonit içeriği ile sarı, organik maddeler (bilhassa hümüs bileşikleri) sebebiyle siyah ve mavimsi renkler alırlar. Kilin dokunumu sabuna benzer, suyu çok emer ve suyu emdiği zamanda akıcı bir karakter kazanırlar ve geçirimsiz bir tabaka halini alırlar. Kuruduğu zaman sertleşir ve çatlar. Kil ve siltleri ayırıcı en belirgin özelliklerden bir tanesi, dişlerle çiğnendiğinde killer, sakıza benzer bir yapı gösterirken siltler kraker gibi kırılırlar.

Çok ince tane boyuna sahip, tabakalanmaya veya laminalaşmaya paralel olarak yapraklanma gösteren, diajenez sonucunda oluşan, diajenez sonucunda mineralojik bileşimi değişmeyen, killi ve siltli sedimanter kayaçlara şeyl denilir. Şeyl içinde biyotit, muskovit, klorit gibi mika mineralleri laminasyona paralel olarak dizilebilirler. Ayrıca nadir de olsa kuvars, feldispat çeşitleri, kalsit ve agregat toplulukları halinde pirit de şeylin bileşimine iştirak edebilirler. **Ekonomik olarak;** Killer, seramik, kağıt, petrol, ziraat, çimento ve yapı işlerinde, tuğla, kremit, kerpiç yapımında, yollarda ve toprak barajlarda ve drenaj kanallarında kullanılır.

Yapıtaşlarının bozulmaları atmosferik şartlardan çok şehirlerdeki hava kirliliği ile ilişkilidir. Örneğin, 100 mm yağış alan kirli havaya sahip bir şehirde kaplama taşlarında 450 yılda 10 mm ayrışma görülmüştür. Birçok kayacın heterojen özellikte olması, yanlış işçilik kullanılması, yanlış taş seçimi, taşın rutubetinin kurumadan hemen kullanılması, işleme hataları, atmosferik şartlar (yağış, donma-çözülme, buharlaşma, gece-gündüz sıcaklık farkları) taşlarda eriyebilen tuzların bulunması ve organik canlı etkileri yapıtaşlarının ayrışıp bozulmasına etki etmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Acar, H. (2005), *Mermer-Traverten-Granit*, İNKA Mühendislik-Maden Makineleri AŞ, 62 s.
- [2] Bozkurt, R. (1990), “Türkiyede ve Dünya’da Granit”, *Mermer, Yapı ve Dekorasyon Dergisi* (13), Eylül-Ekim, İstanbul.
- [3] Çelik, M. Y. (2003), *Dekoratif Doğal Yapı Taşlarının Kullanım Alanları ve Çeşitleri*, *Madencilik*, Cilt 42, Sayı 1.
- [4] Dora. O. Ö. (1984), *Mineraloji*, Cilt I, Genel Mineraloji; Dokuz Eylül Üniv. No 63, İzmir, 232 s.
- [5] Erguvanlı, K. (1955), *Türkiye Mermerleri ve İnşaat Taşları*, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, İstanbul.
- [6] Folk, L.R. (1968), *Petrology of Sedimentary rock*. Univ. Texas Geology 370 k, 383 L+M.
- [7] Folk, R.I. (1980), *Petrology of Sedimentary rocks*; Hemphill Publishing Company, Austin, 184 pp.
- [8] Fry, N, 1989, *The Field Description of Metamorphic Rocks*, *Thomson Litho Ltd. East Kilbride*, Scotland, 110 pp.
- [9] Gillen, C. (1985), *Metamorphic geology*, *George Allen & Unwin*, London, 144 pp.
- [10] Illustrated, M. (1991), *Rocks and Minerals*, *Macdonald & Co London*, 607 pp.
- [11] Karaca, Z. (2001), *Mermer Madenciligi*, Dokuz Eylül Ün. Torbalı Meslek Yüksek okulu Yayınları No:1, 159s, İzmir.

- [12] Karaca, Z., Mermer İşletmeciliği Ders Notları, D.E.Ü. Torbalı Meslek Yüksek Okulu, Ders Notu, Torbalı, İzmir (Yayınlanmamış).
- [13] Köse, H. ve Onargan, T. (1992), *Mermer*, D.E.Ü., Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayını, Yayın No:220, İzmir.
- [14] Kumbasar, I. (1977), *Silikat Mineralleri*, İstanbul Teknik Üniv. Sayı 1098, s.181, İstanbul.
- [15] Kurt, H. ve Arık, F. (2010), *Şehir ve Çevre Jeolojisi*, Aybil Yayın Dağıtım, 298 s, Konya.
- [16] Kurt, H. ve Arık, F. (2014), *Mineraloji* III. Baskı, Atlas-Nobel Yayın Dağıtım, 258 s.
- [17] Kurt, H. (2012), *Maden Mühendisleri İçin Mineraloji ve Petrografi*, 3.Baskı. Aybil Yayın Dağıtım, 259 s, Konya.
- [18] Kurt, H., Yeşilkaya, L., Ersoy, M. ve Kekeç, B. (2016), Mermer ve Parlatılabilir Kayaçlar, *Atlas Akademi*, 274 s.
- [19] Kurt, H. ve Arık, F. (2018), *Planlama, Yapi ve Çevre için Jeoloji*, Nobel Yayınları, 431 s, 978-605-7928-77-1, Yayın no:2168
- [20] Mason, R. (1990), *Petrology of the Metamorphic Rocks*. The Academic Division of Unvin Hyman, London 230 pp.
- [21] Miyashiro, A. (1994), *Metamorphic Petrology*, Biddles, London, 404 pp.
- [22] MTA,. Türkiye'nin önemli mermer yatakları haritası, http://www.mta.gov.tr/v2.0/images/turkiye_maden/maden_yataklari/b_h/mermer.jpg.
- [23] Orhan, H. (1997), *Sedimanter Kayaçlar*, Selçuk Üniv., Yayın No 36 Konya, Öcal, M.D., Açık İşletmeciliğin El Kitabı, Cilt I.

- [24] Önem, Y. (1996), *Sanayi Madenleri*, Ankara: Kozan Ofset, 368 s.
- [25] Streckeisen, A. (1967), *Classification and Nomenclature of Igneous rocks: Njb. Miner. Abh.* 107, Stuttgart.
- [26] Tucker, M.E. (1991), *Sedimentary Petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks*; Oxford Blackwell Sci., London, 260 pp.
- [27] Tuzcu, N. (1986), *Petrografi-1 (Mağmatik Kayaçlar)* Dokuz Eylül Üniv, İzmir, 222 s.
- [28] Türkiye'de Mermer Sektörü ve Marble (2004), İzmir Ticaret Odası Turkish Business Opportunities, Mart 2004.
- [29] Uz, B. (1990), Granit, *Mermer, Yapı ve Dekorasyon Dergisi*, Sayı, 13, Eylül-Ekim, İstanbul.
- [30] Uz, B. (1990), Ülkemizde Sert Mermer Grubu 'Serpantinit-Ultrabazikler', *Mermer Yapı ve Dekorasyon Dergisi*, Sayı:10, Mart-Nisan, İstanbul.
- [31] Wentworth, C.K. and Williams H. (1932), The Classification and Terminology of the Pyroclastic Rocks. U.S. National Research Council, Bull., v.89, p. 742-746.
- [32] Yardley, B.W.D. (1989), *An Introduction to Metamorphic Petrology*; John Wiley & Sons, New York, 248 pp.

OVERVIEW OF SOIL INVESTIGATION APPLICATIONS ON PARCEL BASIS IN BASIC PRINCIPLES FOR EARTHQUAKE RESISTANT CONSTRUCTION IN TURKEY

Emre Aytuğ ÖZSOY¹

1. INTRODUCTION

Turkey is an extremely important country in terms of active tectonics. Two major fault zones, the North Anatolian (NAF) and East Anatolian (EAF) fault zones are the most important elements of this system. In the last 25 years, the August 17, 1999 Marmara Gölçük and November 12, 1999 Düzce earthquakes with magnitudes of 7.4 and 7.2 occurred on the CAF in Turkey. Nearly 35,000 lives were lost as a result of both earthquakes. On February 6, 2023, magnitude 7.7 and 7.6 earthquakes centered in Kahramanmaraş and Elbistan, which were described as the disaster of the century, occurred in the same region on the same day. Unfortunately, as a result of these two earthquakes, more than 50,000 lives were lost in the 11 affected provinces (Figure 1).

After the 1999 earthquakes, the Building Inspection Law was enacted and put into force in 2001. However, when we consider the recent situation, it is seen that these measures still have some problems. The first of the basic principles for earthquake resistant construction is ground surveys on parcel basis. In this study, some suggestions have been made to minimize the problems experienced by looking at the ground

¹ Dr. Öğr.Üyesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Porsuk Meslek Yüksekokul, İnşaat Bölümü , eaoszoy@eskisehir.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0449-6915.

survey applications on parcel basis. This study on ground investigation is to draw attention to the importance of such studies in order to minimize earthquake-related risks.

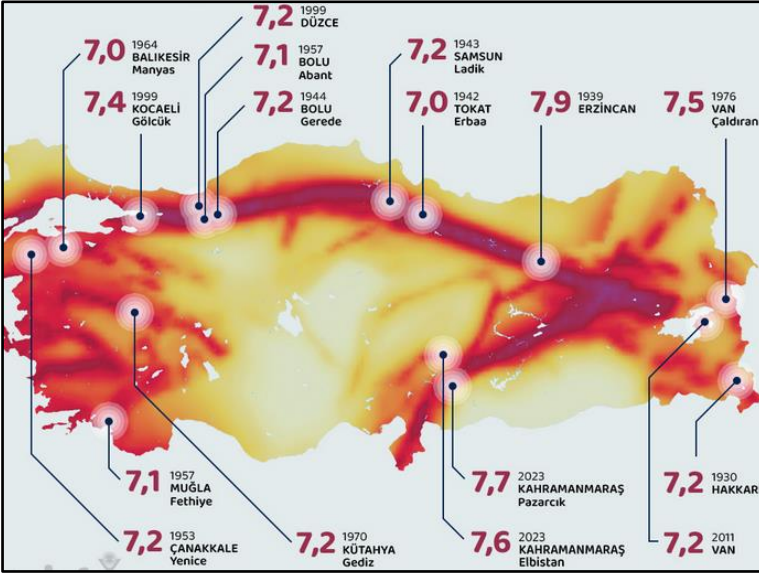


Figure 1. Turkey's active fault zones and earthquakes magnitudes greater than 7 on them. (AFAD, Kandilli)

2. IMPORTANCE OF EARTHQUAKE RESISTANT CONSTRUCTION

Earthquake-resistant construction is critical for both the safety of communities and the sustainability of structures (Figure 2). Especially in areas with high earthquake risk, design and construction processes based on ground investigation data are vital for achieving successful results. Soil investigation is a key factor that increases the resilience of the structure against earthquake effects, thereby developing and implementing a strategy to minimize potential risks. This process is considered a critical step in improving the safety of existing structures and ensuring that new construction projects are built on solid

foundations. In addition, engineering practices and innovative design methods are put in place to prevent damage during earthquakes, strengthening the resilience of structures.

These measures ensure that earthquake resilience is built into construction processes, by taking the necessary regulations and measures to ensure the safety of communities. In this way, public safety is enhanced and the impact of potential future disasters is reduced through the procedures carried out. (Boz, 2021),(Ürkmezyel, 2023),(Kiraz, 2023),(Yalçın, 2021).

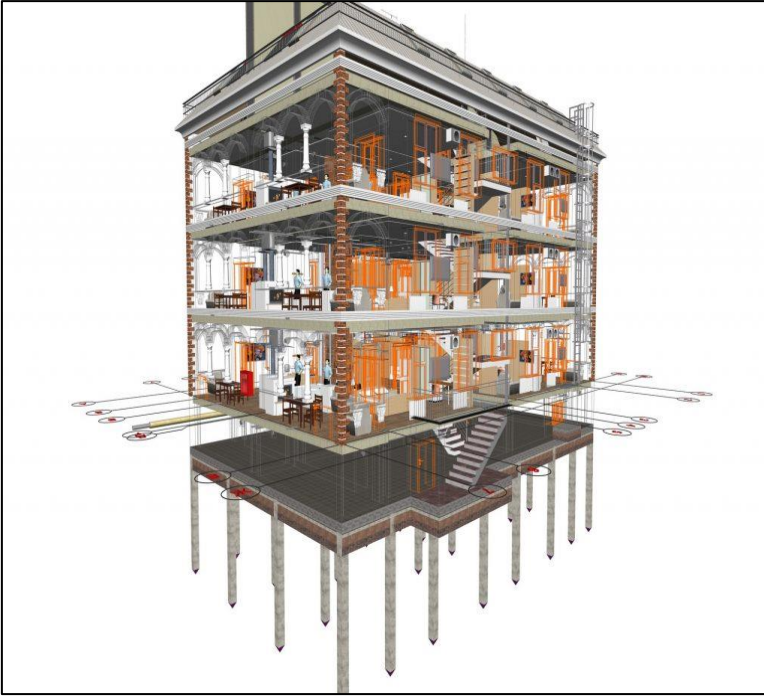


Figure 2. Schematic representation of earthquake-resistant any construction.

3. PARCEL BASED GROUND INVESTIGATION APPLICATIONS

Plot-based ground survey applications are presented within a comprehensive methodology framework in order to meticulously determine the ground properties of the area where the construction will be carried out. The basic components of this process include a careful analysis of critical parameters such as the bearing capacity of the ground, underground water levels, and the thickness of the ground layers. Based on the obtained data and findings, ground improvement methods for the construction process are determined. In addition, it is aimed to increase the earthquake resistance of the project by considering the ground interaction of the construction.

Ground survey results are of critical importance in terms of the reliability and structural integrity of construction projects. When determining the stages of ground survey applications, a detailed examination of the area is first made. At this critical stage, it is important to meticulously take suitable and representative samples for the ground survey and to perform laboratory tests. The applied tests are carefully organized in order to more clearly reveal certain properties related to the ground. Detailed analysis of the obtained data is essential in terms of determining criteria such as the bearing capacity of the ground, compressibility and compressive strength. These data play a critical role in ensuring that the construction process progresses healthily and the project is completed successfully.

In the final stage, it is important to determine appropriate ground improvement methods for the safety of the construction in line with the results obtained and to meticulously take the necessary ground interaction measures. This process creates a vital effect on the success of construction projects and provides significant contributions to increase the overall safety of the

project. Thus, by maintaining high standards at every stage, a healthy foundation is built and the most suitable ground conditions for the construction process are provided.

The most important part of the ground survey on a parcel basis is undoubtedly drilling. The quality of the drilling to be done strengthens the engineering data in every context. When we look at the essence of the matter, the problems experienced in this area are basically related to how qualified the drillings are. Regardless of the regulation or directive, the qualifications of the drillings done in Turkey, that is, the undisturbed samples taken from the SPTs, are taken correctly, bagged, labeled and delivered to the laboratory quickly (Figure 3).



Figure 3. A typical borehole and SPT measurement in the field

The most important factor affecting the time passed until this time is directly related to the training and experience of the driller. Especially newly graduated geology or geophysics engineers, although technically educated, unfortunately make some mistakes based on their titles since they are not

experienced in the field, namely the land. In this regard, they mostly act under the influence of the driller.

At every stage of the drillings, the field engineer should not leave the field without blinking an eye. He should carefully observe every stage of the SPT processes and the samples taken and ensure that they are sent to the laboratory without any problems. When we look at the real situation, the fact that the salary of the driller is higher than the field engineer is another problem in this regard. For this reason, they do not devote themselves to the field with all their might and do the necessary work.

4. EVALUATION OF SOIL SURVEY DATA

The meticulous evaluation of ground survey data includes a comprehensive process of understanding and analyzing the ground conditions of the construction site in detail. In this context, ground survey reports are carefully examined and important features of the ground such as bearing capacity, compressibility, and permeability are emphasized and analyzed meticulously.

The data obtained are interpreted in accordance with the requirements of the construction project and used for the most appropriate structural design and the creation of solid foundations. The accurate evaluation of ground survey data is of great importance for the construction to be safe, durable and sustainable. Therefore, it is critical for experts and engineers to make decisions by taking this data into account in terms of the successful implementation of the project (Yilmaz, 2023).

Determination of soil parameters requires a detailed examination of important properties such as bearing capacity, compressibility, and permeability, which directly affect the

durability and safety of a structure. Such parameters are obtained systematically through laboratory experiments and comprehensive field studies. A meticulous analysis of the factors affecting soil behavior is possible by correctly determining these parameters. This is of great importance, especially in terms of understanding the performance of structures on the ground and making safe design decisions. Careful and accurate determination of soil parameters ensures that the construction process progresses successfully, durably, and sustainably (Figure 4).

Therefore, engineers' in-depth examination of these critical elements related to the ground is an important factor that increases the quality of construction projects and ensures their durability. In addition, such studies guide future construction projects and contribute significantly to achieving optimum results in engineering applications (Ersoy, 2024).

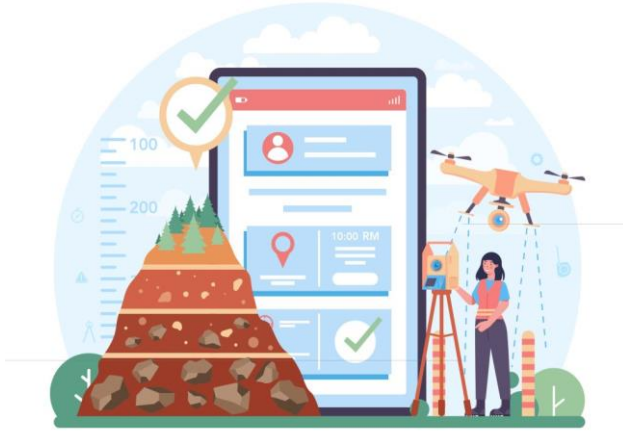


Figure 4. Schematic representation of Soil Survey Data

It is possible to say that the application of ground investigation in earthquake-resistant construction design is extremely vital and critical in terms of the foundation strength and stability of the construction. Soil investigation is extremely necessary for the detailed examination of soil and ground conditions and for the accurate and reliable determination of the interaction of the structure with the ground.

Since the safety, durability and longevity of the structure against earthquakes are directly shaped by the ground investigation results, this issue should be meticulously considered. Soil investigation has a critical place in the project design and implementation stages of construction and should be carefully considered from the very beginning and should be taken into consideration appropriately. Indeed, every step taken without ground investigation can seriously endanger the safety of the construction and cause great risks in terms of sustainability.

In particular, detailed ground investigation allows engineers and architects to design the structure in the most appropriate and effective way. Therefore, the ground investigation process is an inevitable step for the success of construction projects. In addition, there are various factors to be considered when conducting ground investigation; local ground conditions, water level, soil structure, etc. have a direct impact on the safety and durability of the structure. Therefore, it is very important to give the necessary importance to ground investigation in construction projects in order to prevent problems that the structure to be built may encounter in the future.

Engineering practice sees ground investigation not only as a procedure but also as a basis for safety and adopts this perspective in its applications. Therefore, ground investigation is

an integral part of the construction process and this stage should never be ignored in order to build a successful structure.

5. CONCLUSION

According to the findings, it has been particularly emphasized that ground survey applications carried out on a parcel basis have a very critical importance in certain basic principles for earthquake-resistant construction. Ground survey data play a decisive role in decision-making processes at every stage of the building design process, from the basic design stage to the construction stage, and this is of vital importance for the healthy progress of the construction process.

Therefore, it is essential that ground survey applications on a parcel basis are carried out correctly, carefully and meticulously in order to make structures more resistant to earthquakes. Within the framework of various studies to be carried out in the future, it is expected that more comprehensive sample applications will be examined in depth on this important subject and a detailed evaluation of projects implemented in real life will be made, and comprehensive and detailed analyses will be made on the effectiveness of ground survey applications and their importance in this regard.

Such important studies will constitute an extremely valuable resource in terms of contributing to the discipline of civil engineering and the construction of earthquake-resistant structures in a much more effective way in the future. The information obtained successfully will help engineers make conscious decisions regarding ground surveys and will support the safe and sound implementation of construction projects. In addition, detailed and systematic consideration of all aspects of ground investigation applications will increase the reliability of not only existing projects but also future construction projects.

Continuously developing construction technologies and scientific approaches will also bring about the use of more innovative and effective methods in ground investigation. At this point, it will be of great benefit for engineers and researchers to cooperate, emphasize the importance of ground investigation and share best practices in this field. As a result, adequate consideration of ground investigation applications plays a critical role in engineering practice in terms of the construction of earthquake-resistant structures (Figure 5).

The most important factor affecting the time passed until this time is directly related to the training and experience of the driller. Especially newly graduated geology or geophysics engineers, although technically educated, unfortunately make some mistakes based on their titles since they are not experienced in the field, namely the land. In this regard, they mostly act under the influence of the driller.



Figure 5. Schematic representation of earthquake resistant construction

At every stage of the drillings, the field engineer should not leave the field without blinking an eye. He should carefully observe every stage of the SPT processes and the samples taken and ensure that they are sent to the laboratory without any

problems. When we look at the real situation, the fact that the salary of the driller is higher than the field engineer is another problem in this regard. For this reason, they do not devote themselves to the field with all their might and do the necessary work.

6. REFERENCES

- AFAD (2024). www.afad.gov.tr
- BALYEMEZ, P. S. & ŞENGEZER, B. S. (2023). Kentsel Planlama Ve Tasarım Değişkenlerinin Deprem Olgusu Açısından İrdelenmesi Ve Kentsel Deprem Davranışı. academia.edu. academia.edu
- BOZ, Y. (2021). Sürdürülebilir kentsel dönüşüm modeli üzerine bir çalışma. ktun.edu.tr
- ÇİFTÇİ, R. & ORHAN, A. (2020). Nevşehir il merkezi güneyinin jeoteknik değerlendirmesi ve coğrafi bilgi sistemi ile modellenmesi. nevsehir.edu.tr
- ERSOY, S. (2024). Konut yeniden üretimi sürecinde ölçek ve yönetim boyutu için bir model önerisi. uludag.edu.tr
- ERTUĞ, C. (2023). Yapılarda Kullanım Süreci Değişiklikleri ve Deprem Dayanımına Etkileri. iku.edu.tr
- KIRAZ, E. (2023). Betonarme bir binanın deprem performansının farklı deprem yönetmeliklerine göre belirlenmesi. subu.edu.tr
- ÜRKMEZYEL, M. (2023). Sismik İzolasyon Sistemlerinin Fayda-Maliyet Analizi Açısından Değerlendirilmesi. [HTML]
- YALÇIN, İ (2021). Yüksek yapıların deprem yönetmeliği ve sağlık izleme sistemi yönergesine göre mimari açıdan değerlendirilmesi: İstanbul örneği. cankaya.edu.tr
- YAMAN, M., & İLERISOY, Z. Y. (2024). Yüksek Binaların Depreme Yönelik Tasarım Kriterleri: İstanbul Metropolü Örneği. Journal of Architectural Sciences and Applications, 9(Special Issue), 84-105. dergipark.org.tr

- YİLMAZ, S. (2023). İnşaat mühendisliğinde ulaştırma projelerinin maliyet yönetimi yönünden incelenmesi ve örnek bir uygulama. acikbilim.yok.gov.tr. yok.gov.tr
- ÖZUSTAOĞLU, S. (2023). Türk inşaat sektöründe sürdürülebilir yapı üretim sürecini etkileyen faktörlerin belirlenmesi. hku.edu.tr
- ÖZTÜRK, V. (2023). Yenilenebilir Enerji Santrallerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Yapı Bilgi Modellemesi İle Entegrasyonu. iku.edu.tr

**YER BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİĞİNDE İLERİ
ARAŞTIRMALAR**

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com