



ULUSLARARASI MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ VE ÇEVRE BİRLİĞİ (IAEG)

IAEG KOMİSYONU 25 YAYIN NO. 1

Projelerde Mühendislik Jeolojisi Modellerinin Geliştirilmesi ve Uygulanmasına İlişkin Kılavuz

Çeviriye liderlik eden kurum

Mühendislik Jeolojisi Derneği

Çevirenler

Tolga Çan

Tümay Kadakci Koca

Gözden Geçirenler

Remzi Karagüzel

Halil Kumsar

Baş yazarlar

Fred Baynes ve Steve Parry

Baş Editörler

Martin Culshaw ve Jim Griffiths

Katkıda bulunan yazarlar ve editörler

Wayne Barnett, Jorge Bejerman, Anthony Bowden, Richard Brehaut, Joe Cant, Trevor Carter, Dafydd Chandler, Roberto Cravero, Martin Culshaw, Antonio Dematteis, Yogendra Deva, Diego Dicurzio, David Dobson, Jia-Jyun Dong, Mark Eggers, Peter Fair, Robin Fell, Phil Flentje, Andrew Forsythe, Martin Griffin, Jim Griffiths, Bill Haneberg, Nizam Hasan, Chris Jack, Graeme Jardine, Stratis Karantanellis, Alik Kokkala, Christoph Kraus, Teemu Lindqvist, Robert MacKean, Vassilis Marinos, Stuart Millis, Tim Nash, Judith Nathanail, Paul Nathanail, Simon Nelis, Alicia Newton, Jan Novotny, Darren Paul, Alistair Schofield, David Shilston, Ian Shipway, Doug Stead, Keith Turner, Giovanna Vessia, David Waring, Felicia Weir, Ann Williams, Erik Wunder

Bibliyografik referans

Baynes, FJ ve Parry, S. 2024. Projelerde mühendislik jeolojisi modellerinin geliştirilmesi ve uygulanmasına ilişkin kılavuzlar. Sürüm 2.0. Uluslararası Mühendislik Jeolojisi ve Çevre Birliği (IAEG) Komisyonu 25 Yayın No. 1, 81 s.

<https://www.iaeg.info/C25MJMGuidelines/> adresinden indirilebilir

İlk olarak başkaları tarafından yayınlanan bazı şekiller hariç telif hakkı IAEG'ye aittir. Bu yayın, izin alınmadan kopyalanamaz veya uyarlanamaz. IAEG Genel Sekreteri ile iaegsg@163.com adresinden iletişime geçin. Kaynağın tam olarak belirtilmesi koşuluyla, makul uzunluktaki metinlere önceden izin almadan atıf yapabilirsiniz.

Projelerde Mühendislik Jeolojisi Modellerinin Geliştirilmesi ve Uygulanmasına İlişkin Kılavuz

Hazırlayan: IAEG Komisyonu 25 Çalışma Grubu

Sürüm	Tarih	Durum	Hazırlayan
IAEG C25 MJM Yönergeleri v1.0.pdf	14 Aralık 2022	Kılavuzlar ve Örnekler v1.0	Fred Baynes ve Steve Parry
IAEG C25 MJM Yönergeleri v2.0.pdf	9 Ağustos 2024	Yönergeler v2.0	Fred Baynes ve Steve Parry

Uluslararası Mühendislik Jeolojisi ve Çevre Birliği, yazarlar, editörler ve katkıda bulunanlar bu belgedeki bilgilerin eksiksiz, uygun veya yararlı olmaları konusunda hiçbir beyanda bulunmamaktadır. Bu Kılavuzu kullananlar, bu Kılavuzda verilen bilgileri uygularken kendi kararlarını almakla sorumludurlar.

İçindekiler

GİRİŞ	1
Önceki çalışmalar	2
1 ÖNERİ MADDELERİ	3
1.1 MJM GELİŞTİRME İLKELERİ	4
1.1.1 Tanımlar	4
1.1.2 Temel ilkeler	5
1.2 MJM GELİŞTİRME SÜRECİ	9
1.2.1 Geliştirme sürecine genel bakış	9
1.2.2 MJM gelişim düzeyinin seçimi	10
1.2.3 Geliştirme sürecinin detayları	13
1.2.4 MJM ve Eurocode	20
1.3 MJM'NİN OLUŞTURULMASI VE SUNUMU	21
1.3.1 Giriş	21
1.3.2 MJM bileşenlerinin hazırlanmasına ilişkin özet	21
1.3.4 MJM'nin raporlanması	23
1.3.5 3B sayısal modelin oluşturulması ve görselleştirilmesi	25
1.4 MJM'DE BELİRSİZLİK YÖNETİMİ	29
1.4.1 Giriş	29
1.4.2 Belirsizliğin kaynakları	29
1.4.3 İnceleme yoluyla MJM güvenilirliğinin bütünsel değerlendirmesi	29
1.4.4 MJM'nin belirsizliğini ve güvenilirliğini değerlendirmenin diğer yöntemleri	30
1.5 MJM KALİTESİNİN SAĞLANMASI	32
1.5.1 MJM geliştirme sürecinin kalitesinin kontrol edilmesi	32
2 AÇIKLAMALAR	34
2.1 MJM GELİŞTİRME İLKELERİ	35
2.1.1 Tanımlar	35
2.1.2 Temel ilkeler	35
2.2 MJM GELİŞTİRME SÜRECİ	36
2.2.1 Geliştirme sürecine genel bakış	36
2.2.2 MJM gelişim düzeyinin seçimi	42

2.2.3 Geliştirme sürecinin detayları	42
2.2.4 MJM ve Eurocode	53
2.3 MJM'İN OLUŞTURULMASI VE SUNUMU	54
2.3.1 Giriş	54
2.3.2 MJM bileşenlerinin hazırlanmasına ilişkin özet	54
2.3.3 Proje tedarik sürecindeki etkiler	54
2.3.4 MJM'nin raporlanması	54
2.3.5 3B sayısal modelin oluşturulması ve görselleştirilmesi	58
2.4 MJM'DE BELİRSİZLİK YÖNETİMİ	69
2.4.1 Giriş	69
2.4.2 Belirsizliğin kaynakları	71
2.4.3 MJM'nin inceleme yoluyla bütünsel değerlendirilmesi	72
2.4.4 MJM'nin belirsizliğini ve güvenilirliğini değerlendirmenin diğer yöntemleri	72
2.5 MJM KALİTESİNİN SAĞLANMASI	77
2.5.1 MJM genel kalite hedefleri	77
2.5.2 MJM geliştirme sürecinin kalitesinin kontrol edilmesi	77
2.6 MJM VE PROJE MÜHENDİSLİĞİ	79
2.6.1 Genel bakış	79
2.6.2 MJM ve proje aşamalarına genel bakış	79
2.6.3 Saha araştırmalarında MJM	80
2.6.4 İnşaat yönetiminde MJM	82
2.7 KAYNAKLAR	83
Ek A – Katkıda Bulunanlar	87

Projelerde mühendislik jeolojisi modellerinin geliştirilmesi ve uygulanmasına ilişkin kılavuz

GİRİŞ

Bu Kılavuzda, inşaat mühendisliği, madencilik, jeolojik tehlike çalışmaları, açık deniz çalışmaları, arazi kullanım planlaması ve çevresel değerlendirmeler dahil olmak üzere çok çeşitli uygulamalarda Mühendislik Jeolojisi Modellerinin etkili kullanımı hakkında özlü, pratik, erişilebilir ve yetkin önerilerin sunulması amaçlanmıştır. Kılavuz Dünya genelinde uygulanması amacıyla geniş kapsamlı tutulmuş, yer ile etkileşimde bulunan veya yerin anlaşılmasını gerektiren her ölçekteki projede paydaşlar tarafından kullanılmak veya referans alınmak üzere tasarlanmıştır.

Mühendislik Jeolojisi Modeli (MJM), mühendislik jeolojisi koşullarının yorumlanmasını ve değerlendirilmesini destekleyen ve bu koşulların önerilen projeye etkileşiminin irdenmesine olanak tanıyan kapsamlı bir bilgi çerçevesidir. Böylece, projenin başlangıcından proje ömrü sonuna kadar olan yaşam döngüsü boyunca uygun mühendislik kararları alınabilir. Bu tanımlamadaki amaç, bir 'modelin' yer koşullarının basitleştirilmiş ve statik üç boyutlu bir temsili olduğu kavramının ötesine geçmek ve MJM'nin oluşumunun ve gelişiminin bir proje boyunca yer mühendisliğine yön ve kontrol sağlayan bir bilgi birikimi süreci olduğunu kabul etmektir.

Kılavuz, uygulayıcılara 3B sayısal modelleme teknikleri de dahil olmak üzere 'MJM yaklaşımı' konusunda rehberlik sağlamak ve danışmanları, işverenleri, proje sahipleri, kurum organlarını ve düzenleyicileri projelerde Mühendislik Jeolojisi Modellerinin kullanımı hakkında bilgilendirmek için geliştirilmiştir.

Kılavuz, IAEG C25 – Mühendislik Jeolojisi Modellerinin Kullanımı Komisyonu – üyeleri tarafından geliştirilmiş olup katkıda bulunanların fikir birliğine varılan görüşlerini temsil etmektedir.

Bu Kılavuzun, yer mühendisliği topluluğu içinde uluslararası olarak yaygınlaştırılması için diğer dillere çevrilmesi amaçlanmaktadır. Kılavuz, dünyanın çeşitli bölgelerindeki kullanımlarından gelen geri bildirimlere yanıt olarak gözden geçirilmeye ve revize edilmeye devam edecektir.

Kılavuz iki bölümden oluşmaktadır:

1. MJM'lerin geliştirilmesine ilişkin Öneri Maddeleri (Bölüm 1). Öneri Maddeleri, yer ile etkileşime giren herhangi bir proje için uygun bir MJM'nin nasıl geliştirilmesi gerektiğini belirtir.
2. Öneri Maddeleri Hakkında Açıklama (Bölüm 2). Açıklama, gerektiğinde her Öneri Maddesi için ek destekleyici bilgi sağlar ve referans kolaylığı için aynı başlık numaralarıyla yapılandırılmıştır; ilgili yerlerde köprü metni bağlantıları verilmiştir.

Notlar:

1. Bu Kılavuzun amacı bilgi sağlamak ve karar almaya yardımcı olmaktır; Kılavuzun amacı bir çalışma standardı tanımlamak değildir.

2. Kılavuz, model oluşturma konusunda kesin bir eylem veya prosedür önerdiği şeklinde yorumlanmamalıdır; zira belirli bir mühendislik jeolojisi ve proje ihtiyacını karşılamak için yaklaşım ve yöntemlerde farklılıklar olabilir.

Önceki çalışmalar

Mühendislik jeolojisinde 'model' kavramının kullanımı Zaruba ve Mencl (1954 Çekçe) ve Morgenstern ve Cruden (1977) tarafından tartışılmış olsa da bir mühendislik projesi için jeolojik koşulları göstermek üzere ilk oluşturulan jeolojik enine kesit, tartışmasız bir şekilde, ilk mühendislik jeolojisi modeliydi. Bir örnek olarak, William Smith'in çalışması ve 18. yüzyılda İngiltere'de kanal inşaatıyla ilişkili jeolojik haritaların ve kesitlerin geliştirilmesi verilebilir. Fookes (1997) mühendislik jeolojisi modeli fikrini daha geniş bir kitleye taşıması ancak basitçe jeolojik modeller olarak bahsetmiştir. Fookes *vd.* (2000), bu yaklaşımı, yerin mühendislik özelliklerinin alanın tüm jeolojik ve jeomorfolojik geçmişinden kaynaklandığı anlamına gelen 'toplam jeolojik geçmiş' kavramını içerecek şekilde geliştirmişlerdir. Knill (2003), bir 'jeolojik modelin' mühendislik amaçları için tek başına yetersiz olduğunu, çünkü doğal jeolojik ortam içindeki mühendislik koşullarını yeterince tanımlamadığını veya bir tasarımın sunulmasına yardımcı olmadığını öne sürmüştür. Projenin aşamalarına bağlı olarak model türünü jeolojik modeller, yer modelleri ve jeoteknik modeller olarak ele almanın daha yararlı olduğunu öne sürmüştür. Bock *vd.* (2004), mühendislik jeolojisi, zemin mekaniği ve kaya mekaniği disiplinleri arasındaki ilişki, uluslararası toplulukların ilgi alanları, jeolojik modeller ve yer modellerinin mahiyeti hakkında bir bakış açısı sağlamıştır.

IAEG Komisyonu C25, “bir problemi çözme amacıyla oluşturulmuş bir gerçeklik yaklaşımı” olarak tanımladıkları modeli, mühendislik jeolojisi modelleri geliştirmek için bir özet metodolojiyi, modelin kavramsal ve gözlemsel bileşenini ayıran ve örnekler veren bir ara rapor (Parry *vd.*, 2014) yayınlamıştır. Bu yaklaşım sonraki kılavuzlarda da benimsenmiştir (örneğin; Jeoloji Birliği, Londra, Mühendislik Jeolojisi Özel Yayını, 28, buzul ve buzul çevresi araziler için, Giles *vd.*, 2017). Ancak, MJM yaklaşımı henüz Ulusal ve Uluslararası Standartlara dahil edilmemiştir.

Baynes *vd.* (2021), C25 ara raporunu genişletmiş ve MJM'nin, bir projenin herhangi bir aşamasında jeolojik ve ilişkili mühendislik koşulları hakkında bilinen her şeyi anlamak ve iletişim kurmak için kullanılabilecek bir bilgi çerçevesi olduğunu vurgulamışlardır.

Bu güncel Kılavuz, 2019 yılında Güney Kore, Jeju'da düzenlenen IAEG 12. Asya Bölgesel Konferansı'nın ardından IAEG C25- Mühendislik Jeolojisi Modellerinin Kullanımı 25- üyeleri tarafından geliştirilmiştir. Kılavuzun ilk taslağı, Ekim 2021'de Atina'da düzenlenen IAEG 3. Avrupa Bölgesel Konferansı'nda sunulmuştur. IAEG C25 MJM Kılavuzu sürüm 1.0, 14 Aralık 2022 tarihinden itibaren IAEG web sitesinde ücretsiz olarak indirilebilen pdf dosya olarak kullanıma sunulmuştur.

2024 yılında, alınan yorumlara dayanılarak Kılavuz revize edilmiş ve 1.0 sürümünde yer alan örnekler kaldırılmıştır. Ancak, örneklerden bazı şekiller Açıklamalar Bölümü'nde kullanılmıştır.

Kılavuza katkıda bulunanlar, ülkeleri ile birlikte Ek A'da listelenmiştir.



Projelerde mühendislik jeolojisi modellerinin geliştirilmesi ve uygulanmasına ilişkin kılavuz

1 ÖNERİ MADDELERİ

1.1 MJM GELİŞTİRME İLKELERİ

1.1.1 Tanımlar

Bu Kılavuzda kullanılan önemli terimler burada tanımlanmış olup diğer gerekli görülen terimler metinde ilk geçtiği bölümde tanımlanmıştır.

- Model – Bir problemi çözmek amacıyla oluşturulmuş gerçekliğin bir yaklaşımıdır.
- Mühendislik jeolojisi – Jeolojik, jeomorfolojik ve hidrojeolojik bilginin mühendisliğe uygulanması.
- Mühendislik Jeolojisi Modeli (MJM) – bir projeyi ve mühendislik özelliklerini etkileyebilecek jeolojik, jeomorfolojik ve hidrojeolojik koşulların mantıksal değerlendirilmesine ve yorumlanmasına olanak tanıyan kapsamlı bir bilgi çerçevesidir. MJM hem kavramsal hem de gözlemsel bileşenlerden ve bir dizi birbiriyle ilişkili model ve yaklaşımdan oluşabilir. Jeolojik Model, Jeoteknik Model ve Jeotehlike (Jeolojik Tehlike) Değerlendirmesi, MJM bilgi çerçevesinin çıktılarıdır.
- Kavramsal Model – esas olarak mühendislik jeolojisi kavramlarına, yorumlarına, belirli mühendislik jeolojisi koşullarının ve süreçlerinin belirli mühendislik özelliklerine sahip olma olasılığı bilgisine dayanan model olarak tanımlanmaktadır. Zamana bağlı kavramsal model (bazen evrimsel model olarak adlandırılır), yer koşullarının hem yakın hem de jeolojik zaman boyunca nasıl evrimleşmiş olabileceğini gösterir.
- Gözlemsel Model – esas olarak 3B verilerle (xyz) mekanda veya 4B verilerle (xyz artı zaman) mekan ve zamanda sınırlandırılmış mühendislik ve jeolojik gözlemlere ve ölçümlere dayanan bir modeldir. Gözlemsel model, gün geçtikçe daha çok sayısal (dijital) ortamda geliştirilmektedir.
- Mühendislik jeolojisi birimleri – proje mühendisliği bağlamında oluşturulan, benzer jeolojik geçmişe ve benzer mühendislik özelliklerine sahip litolojik birimlerdir.
- Mühendislik jeolojisi haritalaması – proje açısından önem taşıyan mühendislik jeolojisi birimlerinin, jeolojik yapıların, jeomorfolojinin ve hidrojeolojik koşulların dağılımını ve yüzey sınırlarını gösteren bir haritanın, haritalamanın amacına göre (bölgesel kaynak değerlendirmesinden temel koşullarının doğrulanmasına kadar değişen) belirlenmiş bir ölçek ve ayrıntı düzeyinde, uygun semboller kullanılarak hazırlanmasıdır.
- Jeolojik Model – MJM bilgi çerçevesinin, mühendislik jeolojisi birimlerinin, hidrojeolojik koşulların, jeolojik ve jeomorfolojik süreçlerin 3 boyutlu (3B) mekansal dağılımını gösteren bir çıktısıdır.
- Jeoteknik Model – MJM bilgi çerçevesinden çıkan, Jeolojik Modelin ilgili yönlerinin mühendislik özelliklerini ve/veya jeoteknik parametrelerini sağlayan bir çıktıdır.
- Analitik Model – Mühendislik değerlendirmesi, analizi veya tasarımı amacıyla geliştirilen Jeolojik Model ve Jeoteknik Modelin basitleştirilmiş halidir.

- Sayısal Model – MJM bileşenlerinin görselleştirilmesine, yorumlanmasına ve anlaşılmasına yardımcı olmak için bir yazılım ortamında verilerin derlenmesi ve sunulmasıdır. Günümüzde daha çok 3B olarak geliştirilmektedir.
- Sayısal görselleştirme – Genellikle verilerin seçili kısımlarının 2B veya 3B grafiksel gösterimi olan sayısal modelin bir çıktısıdır.
- Yer Modeli – genellikle sözleşmelerde proje çıktısı olarak belirtilen veya standartlar tarafından gerekli kılınan, belirli bir sahadaki yer ve yeraltısu koşullarının anlaşılması için özet bilgi sağlayan bir model türüdür. Yer modeli içinde bulunan çeşitli birimlere ait jeoteknik parametreleri içerebilir. Bu terimin anlamı farklı yönetmelik ve standartlarda değişir.
- Jeotehlikeler – bir projeyi olumsuz etkileyebilecek, karst oluşumu, heyelanlar, yeraltı madenciliği, yeraltı gazı, sismik aktivite gibi jeolojik ve jeomorfolojik süreçler veya olaylar olarak tanımlanır.
- Proje – MJM'nin geliştirilmesi için gerekli olan amaçtır. MJM'ler genellikle bir mühendislik projesine yönelik yer tepkisini değerlendirmek için kullanılır. Ayrıca, doğal kaynaklar, bölgesel jeotehlike değerlendirmeleri vb. daha geniş uygulamalar için de kullanılır.

1.1.2 Temel ilkeler

1.1.2.1 MJM, proje ile yer arasındaki etkileşimleri değerlendirir

MJM'nin amacı, yerin değişime verdiği tepkiyi değerlendirmektir ve genellikle proje ile temelin arasındaki olası etkileşimlerin dikkate alınmasını içerir. Etkili bir MJM, jeolojik ortamda ne olabileceğini ve yerin proje faaliyetlerine nasıl tepki verebileceğini öngörmelidir.

1.1.2.2 MJM bilgi çerçevesi

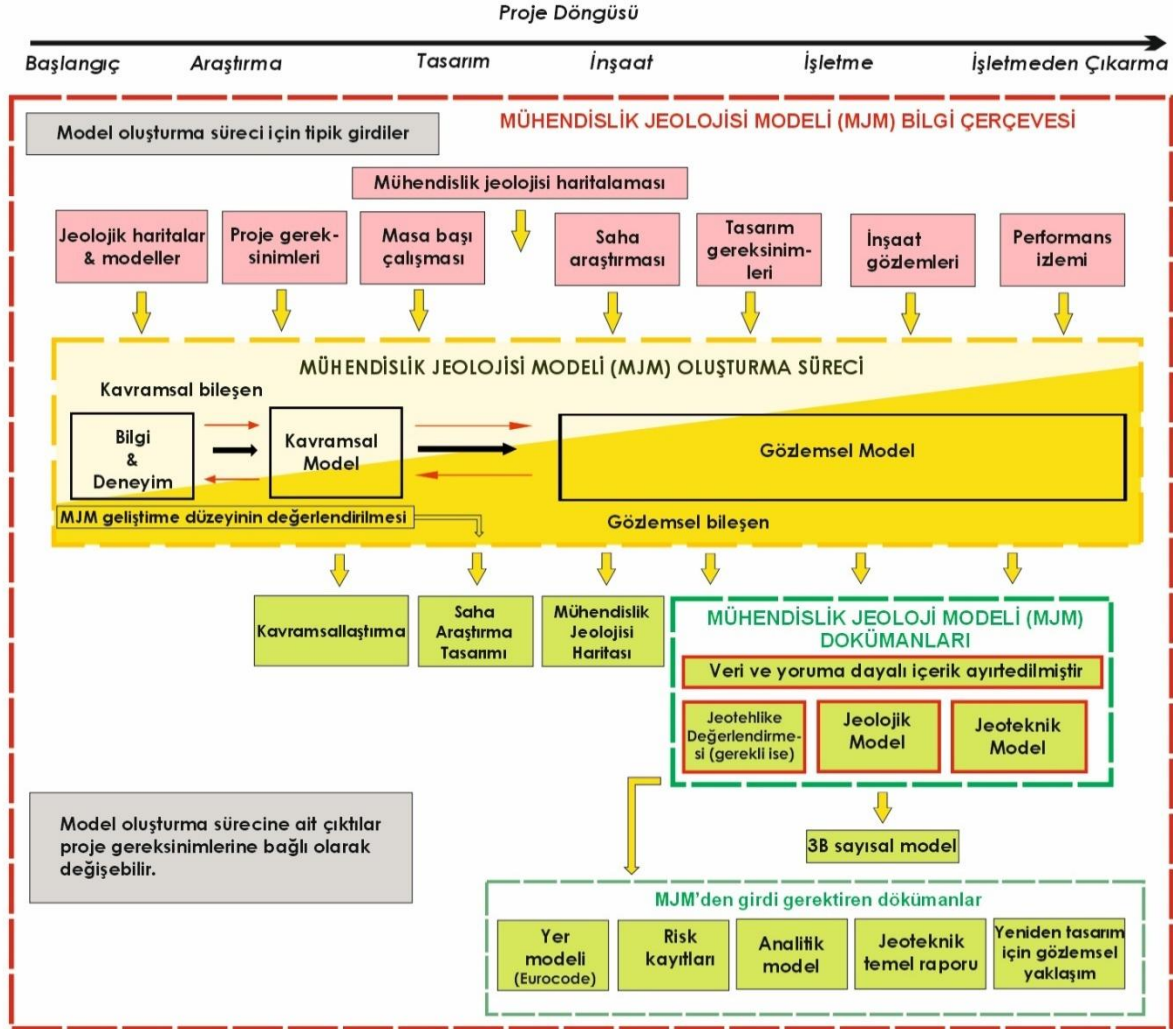
MJM bilgi çerçevesi, proje için mühendislik açısından önemli olan ve mühendislik problemlerini çözmek için kullanılabilen jeolojik, jeomorfolojik ve hidrojeolojik koşulların anlaşılmasını temsil eder (Şekil 1-1). MJM tek bir 'model' değil, birden fazla dinamik modeldir ve aynı zamanda temel verilerin (eğer bu veriler modellerin içinde tutulmuyorsa), destekleyici belgelerin (örneğin saha araştırma raporları) ve bu bileşenleri bir arada tutan bilgi çerçevesinin kaynağıdır. Uygulanabilir olduğu ölçüde, MJM tüm mevcut ve ilgili bilgilere dayanmalı, bu Kılavuzda belirlenen ilkelere göre mantıksal olarak oluşturulmalı, proje için önemli olan jeolojik, jeomorfolojik ve hidrojeolojik koşullara ve mühendislik özelliklerine odaklanmalı ve açıkça ilişkilendirilmelidir.

Bir proje için MJM'nin üç temel çıktısı; Jeolojik Model, Jeoteknik Model ve Jeotehlike Değerlendirmesidir.

1.1.2.3 MJM'ler kavramsal fikirler ve gözlemsel verilerden oluşur

Bir MJM içindeki kavramsal fikirler ve gözlemsel verilerin dengesi, proje türüne, ölçeğine, sahanın jeoteknik karmaşıklığına ve projenin aşamasına bağlı olarak değişecektir (Şekil 1-1).

Bir projenin başlangıcında jeolojik ortamın değerlendirilmesi, esas olarak benzer jeolojik, jeomorfolojik ve hidrojeolojik koşullar için yayınlanmış örneklerin verdiği bilgi, deneyim ve referansa dayanması bakımından kavramsaldır–Proje ilerledikçe ve giderek artan miktarda gözlemsel veri mevcut oldukça MJM gelişir ancak kavramsal model, bu verilerin yorumlanmasını değerlendirmek için çerçeve olarak kalır.



Şekil 1-1 Proje yaşam döngüsü boyunca MJM gelişiminin şematik görselleştirilmesi.

Kavramsal modeller ve gözlemsel modeller geliştirmede kullanılan teknikler farklıdır. Birincisi kavramsallaştırma eylemini, ikincisi ise veriyi değerlendirme ve bilgiyi bir araya getirme eylemini içerir. Ancak, MJM'lerin geliştirilmesinde kullanımları o kadar derin bir şekilde birbirine bağlıdır ki, gerçekte, uygun bir MJM oluşturmak için projenin tüm aşamalarında birleştirilmesi gereken iki farklı ancak temel ve tamamlayıcı araç oluştururlar. Projenin herhangi bir aşamasında, kavramsal fikirler ile gözlemsel veriler örtüşünceye ve diğer tutarsızlıklar proje riskleri olarak tüm ilgili taraflarca kabul edilip yönetilebileceğine karar verilene kadar mühendislik analizi dikkatli bir şekilde yürütülmelidir (Şekil 1-2).

1.1.2.4 MJM, proje yaşam döngüsü boyunca geçerlidir

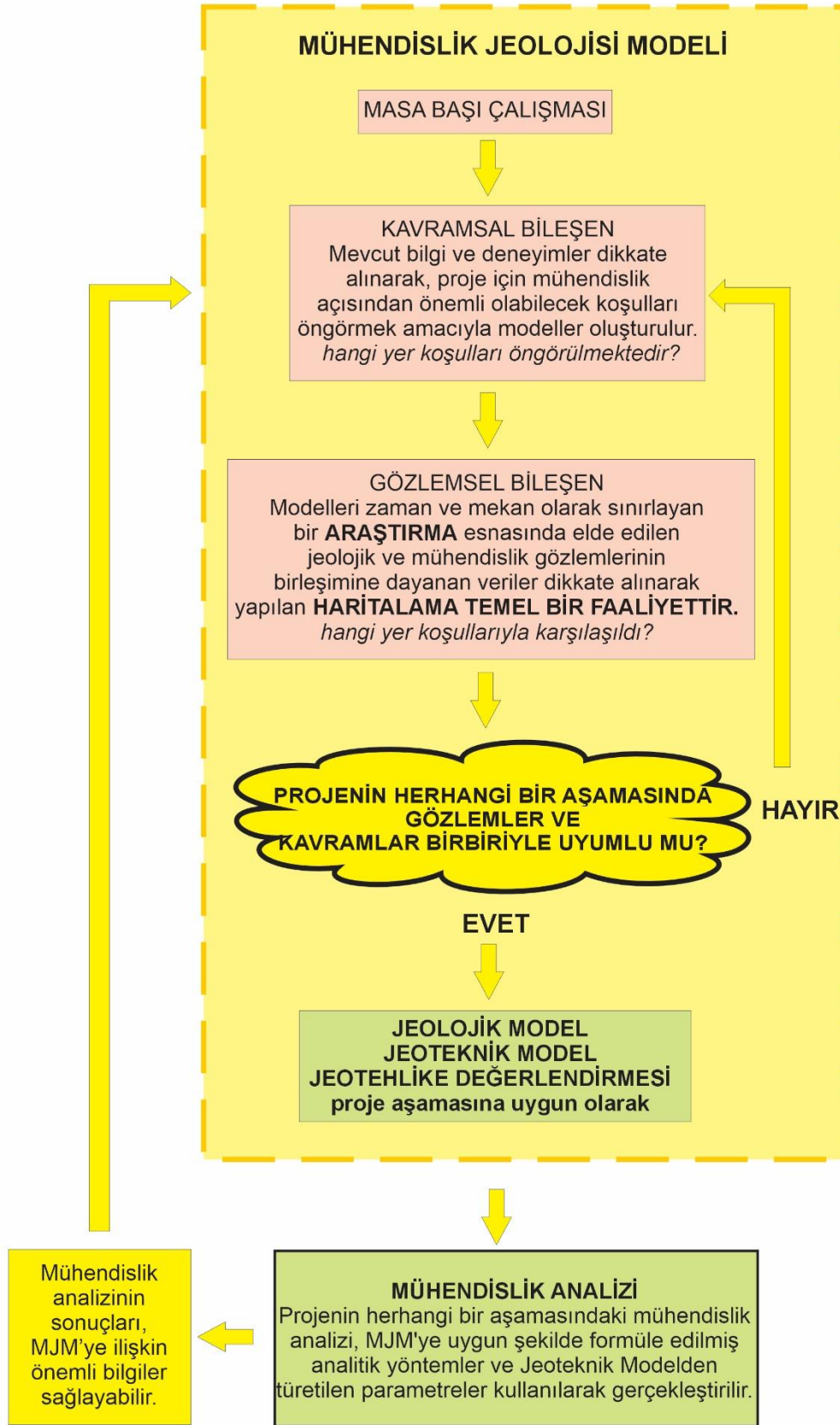
MJM geliştirilmesi proje başlangıç aşamasında başlamalı ve projenin yaşam döngüsü boyunca revize edilmeli, potansiyel olarak birden fazla tasarımcı ve danışman arasında iletilmeli ve yer ile ilgili proje çıktıları temin edebilmek için şeffaf ve mantıksal bir çerçeve sağlamalıdır (Şekil 1-1). MJM bilgi çerçevesi ayrıca proje yönetim sisteminin ayrılmaz bir parçası olmalıdır. Çünkü MJM yer ile ilgili bilinenleri belgelendirdiğinden dolayı sözleşme dokümantasyonunun bir parçası (sözleşme teslimat mekanizmasına bağlı olarak) ve tasarımın temeli olmalıdır.

1.1.2.5 Tüm projeler için bir MJM geliştirilmelidir

MJM, yer ile etkileşime giren tüm projeler için geliştirilmeli ve çok büyük ve çok küçük projeler ve çeşitli coğrafi ölçekler için eşit derecede uygulanabilir olmalıdır. Çok küçük ve basit projeler için MJM'nin kısa bir yorumsal raporda sunulabileceğini unutmayınız.

1.1.2.6 MJM geliştirmek için jeoloji ve mühendislik bilgisi gereklidir

Etkili bir MJM geliştirmek için hem jeoloji hem de mühendislik bilgisi ve deneyimi gereklidir, ancak vurgu jeoloji üzerine olmalıdır. Bu bilgi, ideal olarak jeolojide en azından lisans veya jeolojinin ana bileşen olduğu bir lisans programı ve mühendislik jeolojisi veya jeoloji mühendisliğinde lisansüstü eğitim veya deneyimli bir mühendislik jeoloğunun gözetiminde stajyerlik dönemini kapsayan bir eğitim seviyesine dayanmalıdır. Bazı durumlarda ve basit projelerde, önemli ölçüde jeolojik bilgiye ve/veya projenin jeolojik ortamında geçerli pratik deneyime sahip bir jeoteknik mühendisi güvenilir bir MJM inşa edebilmelidir.



Şekil 1-2 Gözlemler kavramlarla uyumlu olduğunda mühendislik analizine geçilmelidir.

1.2 MJM GELİŞTİRME SÜRECİ

1.2.1 Geliştirme sürecine genel bakış

1.2.1.1 Geliştirme süreci

MJM geliştirme süreci, Tablo 1-1'de listelenen temel adımları içerir ve genellikle çoğu adımın tekrarlanmasıyla gerçekleşir:

Tablo 1-1 MJM geliştirme sürecindeki temel adımlar

1. Çalışma ekibini toplayın, kapsamı ve amacı tanımlayın. Muhtemel MJM geliştirme düzeyini belirleyin.
2. Proje için önemli olan ilgili mühendislik ve mühendislik jeolojisi bilgilerini bir masa başı çalışmasında bir araya getirin. Mümkünse, yetenekli bir mühendislik jeoloğu tarafından ilk keşif haritalamasını üstlenin.
3. Projenin başlangıcındaki bilgi ve deneyime ve masa başı çalışmasına dayanarak olası mühendislik jeolojisi koşullarını *kavramsallaştırın, ancak projenin sonraki aşamalarında yeni bilgiler geldikçe yeniden değerlendirin. MJM geliştirme düzeyini onaylayın.*
4. İlk risk kaydında temel tehlikeleri ve belirsizlikleri tanımlayın ve belgelendirin. Bu kayıt, projenin yaşam döngüsü boyunca kullanılır ve düzenli olarak güncellenmesi gerekir.
5. Araştırmalar yoluyla gözlemler elde edin (bunlar uzaktan algılama, haritalama, jeofizik, araştırma çukurları veya sondajları, örnekleme ve deneyler olabilir, ancak bunlarla sınırlı değildir); araştırmalarda mühendislik jeolojisi haritalamasının önemi güçlü bir şekilde vurgulanmalıdır.
6. Gözlemleri ve kavramları birleştirerek saha koşullarının *yorumunu* geliştirin; mühendislik jeolojisi birimlerini tanımlayın, dağılımlarını yorumlayın ve bir Jeolojik Model oluşturun. Gerekirse kavramsal modeli yeniden değerlendirin.
7. Masa başı çalışmalarından, incelemelerden ve deneyimlerden geliştirilen jeoteknik parametreleri kullanarak mühendislik jeolojisi birimlerini, hidrojeolojik koşulları ve jeolojik süreçleri karakterize edin ve bir Jeoteknik Model ve gerektiğinde bir Jeotehlike Değerlendirmesi oluşturun.
8. Bilgi çerçevesindeki diğer önemli tehlikeleri, belirsizlikleri, boşlukları ve tutarsızlıkları belirleyin; bunlar proje için potansiyel risklerdir ve risk listesine eklenmelidir.
9. Riskleri değerlendirin ve gerekirse bilgi çerçevesini iyileştirmek, bilinmeyenleri en aza indirmek ve riskleri azaltmak için ek araştırmalar yapın veya riskleri kabul edilebilir seviyelere düşürmek için alternatif mühendislik seçeneklerini göz önünde bulundurun.
10. Yukarıdakilerin hepsini, büyük oranda grafik içerikli, sistematik raporlar halinde belgelendirin.

1.2.1.1 İlk adımlar

Projenin başlangıcında şu temel sorular sorulmalıdır:

- Proje nerede yer alıyor (coğrafya/jeoloji/jeomorfoloji/çevre)?
- Projenin türü ve ölçeği nedir, yer ile nasıl etkileşime girecek, tasarım ömrü de dahil olmak üzere temel boyutlar ve tasarım gereksinimleri nelerdir ve bu tür bir proje için temel jeoteknik kısıtlamalar, sorunlar veya **mühendislik yenilmesinin** sonuçları nelerdir?
- Olası yer koşullarıyla ilgili olarak hangi bilgiler mevcut?
- Proje için mühendislik açısından önem taşıyabilecek bölgenin/alanın jeolojik/jeomorfolojik/antropojenik geçmişi nedir?
- Hangi jeoteknikler mevcut olabilir?
- Yeraltı ve yüzey suyu koşulları nelerdir ve bunlar projeyi nasıl etkileyebilir?
- Projenin şu anki durumu nedir, örneğin beklemede mi, finansal destek mi aranıyor, inşaat halinde mi vb.?

Bu temel soruların cevaplanması proje süresince önemini korumaktadır.

1.2.2 MJM gelişim düzeyinin seçimi

Seçilmesi gereken MJM'nin geliştirme düzeyi, proje karmaşıklığı ve mühendislik yenilmesinin sonuçları (risk) bağlamında ele alınan jeoteknik karmaşıklığın bir fonksiyonudur; geliştirme düzeyinin seçimine ilişkin rehber Tablo 1-2 ve 1-3'te verilmiştir. Araştırma jeoteknik karmaşıklığın öngörülenden daha yüksek olduğunu gösteriyorsa geliştirme düzeyi revize edilmelidir.

Tablo 1-2 Proje ve jeoteknik karmaşıklığa bağlı MJM geliştirme düzeyleri. **

	Bu Kılavuza uygun olarak geliştirilen kavramsal modelde belirtildiği üzere, projeyi etkileyebilecek ortamın jeoteknik karmaşıklığı		
Proje Karmaşıklığı ##	BASİT/TEK DÜZENLİ: Hafif eğimli veya yatay tabakalar, tek tip zemin, jeotehlike yok, birkaç jeoteknik kısıtlama	ORTA/DEĞİŞKEN: Değişken kıvrımlanma ve/veya faylanma, değişken zeminler, uyumsuzluklar, az sayıda jeotehlike, bazı potansiyel jeoteknik kısıtlamalar	KOMPLEKS/TEHLİKELİ: Son derece değişken kıvrımlanma ve/veya faylanma, derin ve heterojen zeminler, uyumsuzluklar, önemli jeoteknik karmaşıklık, büyük heyelan kompleksleri, aktif faylar, karst gibi önemli jeotehlike veya proje nedeniyle jeotehlike büyüklüğünün ve/veya sıklığının artırılma potansiyeli
Küçük ölçekli mühendislik geliştirme, küçük ayak izi, düşük riskli yenilme	Seviye 1	Seviye 1	Seviye 2
Orta ölçekli mühendislik geliştirme, orta düzeyli yenilme	Seviye 2	Seviye 2	Seviye 3
Büyük altyapısal, büyük yanal projeler, bölgesel çalışmalar, yüksek riskli yenilme	Seviye 3	Seviye 3	Seviye 3

** Uygun MJM geliştirme düzeyinin değerlendirilmesinde, yetkin bir mühendislik jeoloğundan tavsiye alınmalıdır.

Proje Karmaşıklığı öznel; yenilmenin düşük ve orta düzeydeki riskleri genellikle finansal etkilerle sınırlı olacaktır; yüksek düzeydeki riskleri genellikle can kaybıyla ilişkilendirilecektir; yenilme, projenin tasarım/belirtilen performansa uygun şekilde gerçekleştirilmemesi durumudur.

Tablo 1-3 MJM geliştirme düzeyleri için kapsam gereksinimlerine ilişkin rehber.

	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Uzmanlık çalışmaları	Hiçbiri	Hiçbiri	Farklı jeotehlike çalışmaları komisyonları (uygulanabilir olduğu durumlarda), Uzmanlık konusuna göre jeolojik çalışmalar, Yer/yapı etkileşimi çalışmaları
Haritalama	Minimum saha ziyareti, keşif haritalaması, mühendislik jeolojisi taslak haritası/jeolojik kesiti	Saha ve çevresinin kesitlerini de içeren mühendislik jeolojisi haritalaması	Proje sahasının ve çevresinin çeşitli ölçeklerdeki kesitlerini içeren mühendislik jeolojisi haritalaması
Yeraltı araştırmaları	Tek aşamalı küçük yeraltı araştırmaları, örneğin uygun olması durumunda araştırma çukurları ve sondajlar	Uygun şekilde sondaj kuyuları, koni penetrometre testleri, jeofizik vb. kullanılarak yeraltı araştırmaları. İzleme-ekipmanları yerleştirilmesi	<i>Sondaj, saha deneyi, jeofizik vb.</i> gibi yöntemler, uygun ise ölçme/gözlem ağı ve uzun vadeli izleme kullanılarak çok aşamalı yeraltı araştırmaları. Temel veri toplama
Laboratuvar testleri	Sınırlı veya hiç laboratuvar testi yok	Uygun şekilde laboratuvar testi	Uygun olduğu takdirde kapsamlı ve muhtemelen gelişmiş laboratuvar testleri
Belgeleme	MJM'nin basit bir birleşik Veri ve Yorumsal raporda belgelenmesi	MJM'nin Veri ve Yorumsal Raporlarda Belgelenmesi	MJM'nin Veri ve Yorumsal raporlarda belgelenmesi. 3B sayısal görselleştirmenin dikkate alınması
Çalışma Ekibi	Tüm işlerden sorumlu tek bir kişi	Mühendislik jeologları ve jeoteknik mühendislerinden oluşan ufak bir çalışma ekibi	Geniş katılımlı çok disiplinli bir çalışma grubu
Gözden geçirme	İç (dahili) İnceleme ⁺⁺	Dahili/Harici Eş Düzeydeki Mühendis tarafından Değerlendirme ⁺⁺	Harici İnceleme/Uzman Heyeti ⁺⁺

⁺⁺ Şirkete özgü inceleme gereklilikleri mevcut olabilir.

1.2.3 Geliştirme sürecinin detayları

1.2.3.1 Çalışma ekibini bir araya getirin, kapsamı ve amacı tanımlayın

Hem projenin hem de kaya veya zeminin olası karmaşıklığına bağlı olarak proje ekibi oluşturulmalıdır. Ekip, küçük bir proje için gerekli jeolojik ve mühendislik bilgisine sahip bir bireyden, büyük bir proje için çok disiplinli bir gruba ve bir inceleme heyetine kadar değişebilir. Ekibin, inceleycilerin ve onaylayıcıların rolleri ve sorumlulukları belgelenmelidir. Ekip, MJM'nin kapsamını ve amacını tanımlayarak başlamalı ve MJM'nin hak sahipliğindeki değişiklikler, örneğin MJM'nin bir devlet kurumu tarafından geliştirildiği ve ardından ihaleyi kazanan yükleniciye devredildiği durumları da hesaba katmalıdır. Ekip projeye daha sonraki bir aşamada katılırsa veya proje sözleşmesi ayrı taraflar arasında devredilirse, mevcut proje belgeleri herhangi bir boşluk veya yetersizliği belirlemek için incelenmelidir.

1.2.3.2 İlgili mühendislik ve jeolojik bilgileri bir masa başı çalışmasında bir araya getirin

Bir masa başı çalışması, yeni bilgi toplamak için zaman ve para harcamadan önce mevcut kaynaklardan maksimum değer elde edilebilmesi için ilgili dökümanları bir araya getirmek için yapılan bir bilgi toplama çalışmasıdır. Birincil bilgiler muhtemelen jeolojik haritalar ve raporlar, topografik haritalar, sondajlar, uzaktan algılama verileri, jeotehlike bilgileri vb. gibi mevcut saha araştırma verileri olacaktır. Tarihsel veriler, daha güncel veri setleri tarafından değiştirilmiş veya güncel standartlara uygun olmayan bir tarzda kaydedilmiş olmaları nedeniyle göz ardı edilmemelidir.

Masa başı çalışmasının bir parçası olarak, mümkün olduğu durumlarda keşif haritalaması yapılmalıdır. Haritalama, masa başı çalışması verilerinin değerlendirilmesine olanak tanır ve kavramsallaştırmaya yardımcı olur.

1.2.3.3 MJM'yi Kavramsallaştırın

Kavramsallaştırma, mevcut tüm bilgilerin değerlendirildiği ve sahadaki yer koşullarının ne olduğu ve zaman içinde nasıl geliştiği konusunda bir anlayışın geliştirildiği süreçtir. Bu, başlangıçta masa başı çalışmasından sonra gerçekleşmelidir. Ancak daha sonra ek bilgiler edinildikçe periyodik olarak yeniden düzenlenmelidir. Kavramsallaştırma, hangi koşulların ve hangi değişikliklerin mevcut olabileceğinin ve bunları üreten ve proje için mühendislik açısından önemli olabilecek jeolojik ve jeomorfolojik süreçlerin değerlendirilmesine olanak tanır. Yer koşullarının hem yakın hem de jeolojik zaman içinde nasıl evrimleşmiş olabileceğini göstermek için zamansal bir kavramsal model geliştirmek de bazen yararlıdır. Kavramsallaştırma sırasında sahanın aşağıdaki yönleri dikkate alınmalıdır.

1.2.3.3.1 Proje Düzeni

Proje düzeni, aşağıdakilerin değerlendirilmesine dayanmalıdır:

- Proje lokasyonunun genel tektonik yapısı ve bölgesel jeolojisi.
- Proje lokasyonunun mevcut, geçmiş ve potansiyel olarak gelecekteki iklim koşulları.
- Proje sahasının dışında da gözlem yapılması gerekliliği, örneğin, kaynak alanı sahanın dışında olan heyelan tehlikelerinin değerlendirilmesi

1.2.3.3.2 Stratigrafi – kaya/zemin tipleri ve ilişkileri

Proje alanındaki kaya ve zemin türlerinin oluşmasında rol oynayan kayaç oluşum ve ayrışma süreçlerinin yanı sıra zemin kökeni, taşınması ve depolanma süreçlerinin anlaşılması gereklidir. Bu başlık, kaya kütlesi, kaya ve zemin özelliklerinin, mühendislik jeolojisi birimlerinin olası özelliklerinin, birimlerin sınır koşullarının yanı sıra olası geometrilerinin, dağılımlarının ve hem birbirleriyle hem de projeye ilişkilerinin dikkate alınmasını sağlar.

Birimlerin stratigrafik yaşı ve oluşumlarından bu yana maruz kaldıkları jeolojik olayların anlaşılması gerekir. Bu durum, yerin tüm mühendislik özelliklerinin, alanın tüm jeolojik ve jeomorfolojik geçmişinin bir sonucu olarak yorumlandığı bütüncül jeolojik model yaklaşımının uygulanmasını desteklemektedir.

1.2.3.3.3 Jeolojik yapı

Tüm ölçeklerde tektonik unsurların varlığı ve mühendislik jeolojisi birimlerinin dokanak özellikleri ve bunlar içindeki süreksizlikler, kökenleri, geometrileri, aralıkları, devamlılıkları, boyutları, karakteristik özellikleri ve mühendislik projesi açısından önemleri dahil olmak üzere jeolojik yapılara bir bakış açısı geliştirilmelidir. Bu bakış açısı ayrıca kaya ve zemin oluşum süreçlerinin zamanı ve sırasını, deformasyon evrelerini, morfolojik gelişimini ve gerilme boşalımı etkilerini de içermelidir.

1.2.3.3.4 Yüzey ve yeraltı süreçleri

Aktif veya potansiyel olarak yeniden aktif hale gelebilecek jeotekniklerin tanımlanması ve bunların zaman içinde büyüklük ve sıklıktaki olası değişimlerinin ilk değerlendirmesi gereklidir. Yüzey ve yeraltı su koşulları ve bunların zaman içinde nasıl değişebileceği de değerlendirilmelidir.

1.2.3.3.5 Başlangıç mühendislik jeolojisi karakterizasyonu

Mevcut veriler veya bilgilere, örneğin zemin ve kayaların dayanımı, sertlik, geçirimsilik, jeomorfolojik süreçlerin hızı vb. dayanarak, kavramsal modelin bölümlerine jeoteknik parametreler atamak mümkün olabilir. Potansiyel jeoteknik risklerin (ve olası proje fırsatlarının) değerlendirilmesi, başlangıç risk kayıtları oluşturmak için kullanılabilir.

1.2.3.3.6 Başlangıç Jeolojik Modeli

Kavramsallaştırma, saha araştırmasını planlamak için kullanılabilecek bir başlangıç **Jeolojik Modeli** oluşturacaktır. Başlangıç Jeolojik Model daha sonra saha araştırmalarından gözlemsel veriler elde edilerek düzeltilir.

1.2.3.4 Araştırmalar yoluyla proje alanına ilişkin gözlemler edin

Masa başı çalışması sırasında edinilen bilgiler hem kavramsal hem de gözlemsel modeller geliştirmek için başlangıç noktasıdır. Ancak, gözlemsel verilerin çoğu projenin saha araştırma aşaması(ları) sırasında edinilir. İnşaat ve işletme sırasında daha fazla gözlemsel veri eklenmelidir.

Sonda, sondaj kuyusu, mostra vb. kayıtlarındaki tüm malzeme tanımlamalarına, çökeltme ortamının jeolojik yorumu ve/veya stratigrafik yaş eşlik etmelidir.

Kavramsal bir çerçeve kullanılmadan sadece gözlem ve yorumlardan oluşan saha araştırmalarının temelde hatalı olma olasılığı yüksektir ve bu şekildeki saha araştırmaları kabul edilmemelidir.

Kavramsallaştırmanın ardından, sahadaki mühendislik jeolojisi birimlerinin olası özellikleri ve dağılımı, herhangi bir jeotehlikenin niteliği ve bilgi çerçevesinde şüphelenilen herhangi bir eksiklik hakkında geniş bir bakış açısı geliştirilmelidir. Bu bakış açısı daha sonra tasarım için kritik olan yer özelliklerine odaklanmalı ve araştırma hedeflerini belirlemek ve bu kritik alanlarda bakış açısını iyileştirecek ve belirsizliği azaltacak araştırmaları planlamak için kullanılmalıdır.

Herhangi bir projeyi araştırırken sistematik haritalamanın önemi vurgulanır. Haritalama, tüm proje alanı üzerinde derinlemesine, aydınlatıcı gözlemler ve bunların mantıklı ve sağlam temellere dayanan yorumlarını içermelidir. Tüm projeler, araştırmaları yürütmekten sorumlu ekibe “ait” ve bu ekip tarafından derlenmiş bir mühendislik jeolojisi haritası içermelidir. 2B veya 3B sayısal ortamda çeşitli veri kümelerinden veya uzaktan algılama görüntülerinin yorumlanmasından türetilen gözlemleri birleştirerek, ofiste hazırlanan haritaların yer doğrulaması için yapılan saha çalışmalarının giderek artmasına rağmen, esasen, bu tür haritalar sahada geliştirilmelidir. Herhangi bir mühendislik jeolojisi haritalamasının, jeolojik yapıyı (örneğin, çizgisellikler, yapısal özellikler, süreksizlik türleri ve dokanak takibi vb.) ve jeomorfolojiyi de kapsamı esastır.

Daha büyük projeler, daha karmaşık sahalar veya kritik yapılar için, saha araştırması genellikle çok aşamalıdır. Her aşamada elde edilen gözlem verileri kavramsal modelle karşılaştırılarak, araştırmanın sonraki aşamalarında hangi belirsizlik alanlarının ve hangi risklerin değerlendirilmesi gerektiği belirlenir.

Araştırmalarla genellikle aşağıdaki konuları içeren gözlemsel veriler toplanır:

- Topoğrafik araştırmalar ve giderek artan bir şekilde LiDAR (Işın Algılama ve Mesafe Ölçme) kullanılarak üretilen SYM'ler (Sayısal Yükseklik Modelleri)
- Bölgesel, proje alanı, jeoteknik araştırma ve parsel bazında etüt çalışmaları gibi farklı ölçeklerde mühendislik jeolojisi haritalaması. Tüm haritalamalar, değişik ölçeklerde görüntülenebilen tek bir veri setine sorunsuz bir şekilde entegre edilmelidir.
- Sondaj kuyusu, araştırma çukuru, shaft, tünel vb. delmeli araştırma tekniklerinden elde edilen bilgiler.
- Kuyu içi görüntüleme, jeofizik ve diğer araçlar gibi sondaj verileri.
- Kurulu enstrümantasyon ve izleme sonuçları.
- Laboratuvar ve saha testi sonuçları.
- Yeraltı ve yüzey suyu ölçümleri.
- Jeofizik araştırma sonuçları.
- Açıklamalar ve sınıflandırmalar (örneğin, kaya türleri, bilinen sınıflandırma sistemleri ve terminolojileri kullanılarak belirlenmiş kaya dayanım sınıfları).
- Sondaj kuyusunda kesilen mühendislik jeolojisi birimlerinin derinlikleri, tabakaların veya diğer süreksizliklerin doğrultu ve eğim ölçümleri.
- InSAR (interferometrik yapay açıklıklı radar) gibi uzaktan algılama teknikleri.

- Gelecekteki jeotehlikelerin sıklığını tahmin etmek için kritik öneme sahip olan zamansal gözlem modelleri (örneğin, sismik aktivite, yağış, heyelan vb. zaman serileri) dahil olmak üzere diğer gözlemsel veriler.

1.2.3.4.1 Girdi verilerinin doğrulanması

Gözlemsel verilerin yorumlanmasından önce, her veri setinin doğruluğu, faydası ve temsil ediciliğinin test edilmesi gereken bir veri inceleme ve derleme adımıdır. Veri setinin doğruluğu ve temsil ediciliğiyle ilgili herhangi bir sorun, olası gerekçelerle tartışılarak belgelendirilmelidir.

1.2.3.5 MJM'de Kavramsal fikirlerin ve gözlemsel verilerin bir araya getirilmesi

Kavramsal ve gözlemsel bileşenlerin birleştirilmesi yorumlamayı gerektirir.

MJM'nin kavramsal ve gözlemsel bileşenlerini bir yorumda birleştirmenin döngüsel olan süreci, takip edilebilir, belgelendirilmiş ve yapılandırılmış olmalıdır. MJM'yi geliştirmekten sorumlu kişilerin öznel yargılarından kaçınılmalı; bunların yerine nesnel ve değerlendirilebilir kaynaklar (örneğin, literatürden modeller ve vaka geçmişleri, haritalama, jeoteknik araştırma, jeoteknik izleme vb.) ve bunların yorumlamada dikkate alınmasındaki gerekçeler kullanılmalıdır.

1.2.3.6 Mühendislik jeolojisi birimlerinin tanımlanması ve karakterize edilmesi

Herhangi bir MJM'nin en temel ürünü, mühendislik projesi için önemli olan mühendislik jeolojisi birimlerinin mühendislik jeolojisi özelliklerinin/jeoteknik davranışlarının anlaşılmasını esas alan tanımıdır. Mühendislik jeolojisi birimlerinin tanımı, **Jeolojik Modelin** geliştirilmesini destekler.

Yaygın bir yaklaşım, sahada tanımlanmış belirgin litostratigrafik bölümlere (yani, ayırt edilebilen zemin ve kaya birimleri) dayalı mühendislik jeolojisi birimlerini benimsemektir; bunlar genellikle jeolojik haritada sağlanan kronostratigrafik birimlerin (yaşa dayalı birimler) alt bölümleridir. Ancak, litostratigrafik birimler en işe yarar mühendislik jeolojisi birimlerine karşılık gelmeyebilir (yani, belirgin jeomorfolojik süreçleri, jeoteknik davranışı, hidrojeolojik özellikleri vb. hesaba katmayabilir). Ayrıca, stratigrafik birimlerin çözünürlüğü modelin amacına uygun olmayabilir.

Yine de mühendislik jeolojisi birimleri litostratigrafik sınırları aşmamalıdır. Litostratigrafik birimler belirgin bir jeolojik geçmişe sahiptir ve farklı jeolojik geçmişler, jeoteknik özellikler benzer olsa bile, tek bir mühendislik jeolojisi biriminde birleştirilmemelidir. Bunun istisnaları, ayrı olarak ele alınması gerekebilecek ve tanım gereği litostratigrafik sınırları kesen fay zonlarıdır. Bu sınırların ölçeğe bağımlı olacağını unutmayın- bölgesel bir modelin sınırları, lokal ölçekli modelin sınırlarından farklı olabilir.

Seçilen mühendislik jeolojisi birimleri, proje için önemli olan koşulları yansıtmalı ve ayrışma, alterasyon ve faylanma gibi jeolojik koşulları içermelidir. Şekil 1-3, mühendislik jeolojisi birimlerini oluşturma ve böylece Jeolojik Modeli geliştirmeyle ilgili süreci ana hatlarıyla açıklamaktadır. MJM'nin diğer yönlerinde olduğu gibi, mühendislik jeolojisi birimlerinin çözünürlüğü ve ölçeği MJM'nin kapsamı ve amacıyla açıkça ilişkilendirilmelidir. Ek veriler elde edildikçe, kullanılan mühendislik jeolojisi birimleri tekrar

gözden geçirilmelidir.



Şekil 1-3 Mühendislik jeolojisi birimlerinin oluşturulması ve Jeolojik Modelin temeli.

1.2.3.6.1 Jeoteknik karmaşıklık

Jeoteknik açıdan karmaşık alanlarda, jeoteknik özellikler proje sahası içinde ani, potansiyel olarak geniş bir değer aralığında değişebilir. Jeoteknik karmaşıklık, mümkün olduğunca, uygun dağılım ve karşılıklı ilişkileri yansıtan ilgili mühendislik jeolojisi birimleri şeklinde Jeolojik Modelde gösterilmelidir. Bu mümkün olmadığında, basitleştirme gerekebilir ve MJM dokümantasyonu, jeoteknik karmaşıklığı üreten jeolojik süreçleri ve jeolojik geçmişi, mühendislik jeolojisi birimlerini üretmede kullanılan herhangi bir basitleştirici varsayımın niteliğini tanımlamalı ve kavramsal modeli görselini kullanarak potansiyel karmaşıklığı göstermelidir.

1.2.3.7 Mühendislik karakterizasyonu

Mühendislik karakterizasyonu, mühendislik projesiyle ilgili jeoteknik parametrelerin Jeolojik Modeldeki her bir mühendislik jeolojisi birimine atanmasını ve değerlendirilmesini kapsar, bu daha sonra **Jeoteknik Modele dönüştürülür**.

Süreç, kavramsallaştırma sırasında başlar, ancak bu aşamada atanan herhangi bir parametre muhtemelen dikkate değer oranda belirsizlik içerecektir. Saha araştırması hem yer koşullarına hem de proje türüne bağlı olarak belirlenen ilgili jeoteknik parametrelerin değerlendirilmesine yardımcı olmak için *yerinde deneyleri ve laboratuvar testlerini kapsar*. *Araştırma sonuçları bu nedenle mühendislik jeolojisi birimlerinin karakterizasyonunu düzeltecek ve belirsizliği azaltacak ve muhtemelen kavramsal modelde öngörülenin gelişmiş hali olacaktır.*

Jeoteknik Model, Jeolojik Modelde bulunan ayrıntıların sadeleştirilmiş halini içerebilir, örneğin karmaşık bir fay zonu açısından, bu durum, sınırlayıcı yüzeylere ve tüm fay zonunun mukavemeti, sertliği ve geçirgenliği üzerine bazı yalın varsayımlara indirgenebilir. Ancak, herhangi bir sadeleştirme, jeoteknik davranışları nedeniyle ayrı ayrı ele alınması gereken temel mühendislik jeolojisi birimlerini ortadan kaldırmamalıdır.

Aşağıdaki yaklaşım benimsenmelidir:

- Projeye uygun mühendislik özelliklerine odaklanılmalıdır.
- Belirlenen her mühendislik jeolojisi birimi için laboratuvar ve yerinde deney sonuçlarını gruplandırın.
- Malzeme özellikleri ve jeoteknik parametreler öncelikle sahaya özgü araştırmalardan belirlenmelidir. Ancak, kaynağı açıklandığı, gerekçelendirildiği ve referans verildiği takdirde, deneyim, teori, korelasyon veya tecrübeye dayalı (ampirik) türetilen değerlerle desteklenebilir.
- Örneklem ve deneysel güçlüklerden kaynaklanan sapmaları ve her birim için deney sayısını göz önünde bulundurun ve mühendislik jeolojisi birimi için temsili değer aralığına karar verin. Önemli zayıf bölgelerin varlığının gözden kaçırılmasını neden olacak şekilde malzeme özelliklerinin ortalaması alınmamalı; değerlerin temsil edici değerlerden daha yüksek ve/veya daha düşük olma olasılığını belirlemek için sonuçların tüm aralığı değerlendirilmeye alınmalıdır.

- Temsil edici değerleri deneyimsel bilgiyle ve benzer birimler için yayınlanmış değerlerle karşılaştırın.
- Herhangi bir anormal veya aykırı sonucu göz önünde bulundurun ve açıklayın. Bunlar mühendislik jeolojisi birimlerinin düzeltilmesi gerektiğini gösterebilir.
- Verilerdeki veya analizdeki herhangi bir kısıtlamayı vurgulayın.

Tasarımcı tarafından analizde kullanılacak mühendislik parametrelerinin seçiminin, yukarıdaki bilgilere dayanması, ideal olarak grafiksel olarak sunulması ve proje mühendislik hedefleri, risk ve yönetmelik/şartname gereksinimleri ile birlikte dikkate alınması gerektiğini unutmayın.

1.2.3.7.1 Bölgeleme

Mühendislik jeolojisi birimleri tanımlandıktan ve jeoteknik özellikler değerlendirildikten sonra aynı jeoteknik özelliklere sahip bölgeleri veya alanları tanımlamak yararlı olabilir. Bölgeler jeomekanik davranış, sismik hız, kaya kütlesi sınıflandırması vb. ile tanımlanabilir, ancak, aynı zamanda proje için mühendislik açısından önemli herhangi bir özelliği (örneğin asit sülfat etkisi, heyelan duyarlılığı veya yeraltısuyu jeokimyası) de esas alabilir, böylece MJM, çeşitli mühendislik analizleri, risk değerlendirmesi, inşa edilebilirlik değerlendirmesi vb. için kullanılabilir. Uygun bölgeleme kararı tasarımcılar ve geniş bir mühendislik ekibiyle birlikte verilmelidir.

Bölgelemede kullanılan ölçek, verilerin yapısını ve çıktıların nasıl kullanılacağını yansıtmalıdır. Bölgeleme, verilerin izin verdiği ölçüde ayrıntılı olmalıdır; daha ayrıntılı veya daha az ayrıntılı olmamalıdır.

Yaygın bir hata, yeri sondaj kuyusu ölçeğinde bölgelere ayırmak ve ardından sondaj kuyuları arasındaki 'noktaları birleştirmeye' çalışmaktır. Bu yöntemi kullanarak daha geniş jeolojik ortamı ve bütün bir jeolojik geçmişi hesaba katmak neredeyse imkansızdır. MJM'nin mühendislik analizi ve tasarımına etkili bir şekilde katkıda bulunabilmesi için, analizlerin model tarafından tanımlanmış kritik bölgelere duyarlılığı, bölgelemenin çözünürlüğü ve ölçeği ile uyumlu olmalıdır.

1.2.3.8 MJM'de belirsizlik, boşluklar ve tutarsızlıklar

MJM'nin geliştirilmesi süresince, gelişmekte olan kavramsal fikirler ile aşamalı olarak edinilen gözlemsel veriler arasındaki uyum seviyesinin düzenli olarak değerlendirilmesi gerekir. Bu değerlendirmeler genellikle kararlaştırılan proje raporlama aşamalarında gerçekleşecektir.

Beklenen ile araştırmalar sırasında bulunan arasında bir kopukluk varsa, bunun nedenleri belirlenmeli ve MJM iyileştirilmelidir. Tasarım sırasında MJM, yerin proje faaliyetlerine nasıl tepki vereceğine dair yeterli doğrulukta, gerçekçi bir tahmine izin vermiyorsa, MJM'yi iyileştirmek için daha fazla bilgiye ihtiyaç vardır. Belirlenen riskleri azaltmak için MJM'de yapılacak iyileştirmeler, daha fazla inceleme veya inşaat sırasında kullanılabilecek daha tutucu yaklaşım veya gözlemsel yöntemin benimsenmesi gibi tasarım stratejileri şeklinde olabilir.

Bir proje inşaat aşamasına geçerken, yüzeyleyen yer koşulları MJM tarafından öngörülen koşullara göre değerlendirilmelidir. Daha sonra, bu değişikliklerin tasarım veya inşaat metodolojisini etkileyip etkilemeyeceği ve bu metodolojilerin değiştirilmesi gerekip gerekmediği veya inşaat risk kaydının güncellenmesi gerekip gerekmediği konusunda bir değerlendirme yapılmalıdır.

MJM'nin geliştirilmesi süresince, belirsizlikler, boşluklar ve tutarsızlıklar risk olarak kabul edilmelidir. Proje için potansiyel risklerin önemli olduğu düşünüldüğünde, bunlar risk kaydına eklenmelidir. Bu risklerin yönetimi, işveren, halk ve herhangi bir mevzuat tarafından belirlenen kabul edilebilir risk seviyesine dayanmalıdır. İşverenin risk iştahı/risk toleransı, MJM kullanılarak aktarılmış olan yer koşullarının sağladığı bilgiye dayanmalıdır.

1.2.4 MJM ve Eurocode

Bu Öneri Maddelerinde açıklanan yaklaşım, proje yaşam döngüsünün herhangi bir aşamasında olan herhangi bir proje türü için mühendislik kararı almak için bir MJM bilgi çerçevesi geliştirmeye uygun kapsamlı bir yöntemdir. Eurocode yaklaşımı, belirli proje türlerinin bazı aşamalarına daha sınırlı bir şekilde uygulanabilmektedir ve özellikle bir 'yer modeli' bileşenlerine ilişkin terminolojik farklılıklar vardır, ayrıca proje yaşam döngüsü boyunca geliştirilen bir Mühendislik Jeolojisi Modeli kavramından bahsedilmemektedir.

[Daha fazla bilgi için Bakınız Açıklamalar Bölümü 2.2 MJM GELİŞTİRME SÜRECİ](#)

1.3 MJM'NİN OLUŞTURULMASI VE SUNUMU

1.3.1 Giriş

MJM'nin çeşitli bileşenleri, özellikle danışmanlara ve yüklenicilere, aynı zamanda diğer kitlelere de iletmek için kullanılabilecek bir formatta belgelenmelidir.

Belgeler en azından metin, harita ve kesitler içermelidir. Ancak daha sıklıkla ayrıntılı metinler ve bunlara eşlik eden diyagramlar, tablolar, kayıtlar, fotoğraflar, haritalar, kesitler, veri kümeleri, işlenmiş veriler ve sayısal modellerden oluşmalıdır. Bunların her biri esasen şeffaf, kendi kendini açıklayan, kendi kendine yeten, açık ve kolay anlaşılabilen nitelikte olmalıdır.

Tüm belgelenmiş MJM verisi, merkezi, standartlaştırılmış ve entegre bir veri yönetimi ve sunum sistemi içinde işlenmeli/korunmalıdır. Veriler, elle çizilmiş haritalardan ve kesitlerden, bazen karmaşık yazılımlar tarafından oluşturulan modeller ve süreç aşamalarını tanımlayan 4B (mekansal ve zamansal) modeller de dahil olmak üzere 3B (mekansal) modellere kadar değişebilir.

1.3.2 MJM bileşenlerinin hazırlanmasına ilişkin özet

Tablo 1-4'te danışmanların MJM'nin çeşitli bileşenlerini belgelendirirken izlemesi gereken örnek bir özeti sunulmaktadır. Küçük projeler için bu öğelerin çoğu tek paragrafta açıklanabilir ve tüm belgeler tek bir kısa raporda sunulabilir.

Bazı durumlarda, saha araştırması bir MJM kullanılarak planlanabilir. Ancak sözleşme gereği araştırmanın tamamlanması için yalnızca bir "Veri Raporu"nın üretilmesi gerekiyor olabilir. Sonuç olarak, MJM'nin belgelenmesi, yorumsal bir içerikten yoksun olduğu için eksik olacaktır ve bu durum, sözleşmenin tüm tarafları tarafından kabul edilmeli ve belgelenmelidir.

Büyük projelerde MJM bileşenlerinin yer aldığı farklı raporların birkaç cildi bulunabilir.

Büyük projeler için jeoteknik hizmetler için ihaleye çıkıldığında, MJM'nin tüm bileşenlerinin sunulması, ideal olarak Veri ve Yorumsal Raporlarının sağlanmasıyla ilişkili ve bunlara paralel olarak ayrı bir kapsam maddesi olarak ele alınmalıdır. Bu durumlarda, İhale talep belgelerinde MJM'nin geliştirilmesine yönelik beklentiler açık olarak tanımlanmalıdır. İhale değerlendirme sürecinde ise teklif sahibinin MJM oluşturma konusundaki yetkinlikleri dikkate alınmalı ve proje başlangıcında uygun bütçe tahsisleri yapılmalıdır.

1.3.3 Proje tedarik sürecindeki etkiler

Bu kılavuzlara uygun olarak hazırlanan MJM bileşenlerinin dokümantasyonu ideal olarak proje dokümantasyonuna dahil edilmeli veya referans gösterilmelidir. İşverenin proje tedarik stratejisine bağlı olarak, MJM bileşenlerinin dokümantasyonunun tamamlanması ve mevcut bilgilerin, proje takviminde, koruma zamanları belirlenmeli ve kayıt altına alınmalıdır. Proje ilerledikçe, MJM bileşenlerinin belgelendirilmesi, edinilen yeni bilgileri yansıtacak şekilde güncellenebilir. Aşağıda tipik koruma zamanları sıralanmıştır:

- Küçük projelerde genellikle saha araştırmasının tamamlandığı aşama tek koruma zamanları olacaktır.

- Daha büyük projeler için aşağıdaki koruma zamanlarının bazıları veya tamamı geçerli olabilir:
 - Masa Başı Çalışması'nın tamamlandığında.
 - Her araştırma aşamasının tamamlandığında.
 - Her tasarım aşamasının tamamlandığında.
 - Ana işlere ait sözleşmenin kesinleştiğinde.
 - Varsa, Temel Koşulların üzerinde anlaşmaya varıldığında.
 - Baraj temelleri, tüneller gibi çeşitli proje unsurlarının tamamlanmasıyla ilişkili olarak yapım sürecindeki belirlenmiş kilometre taşları.

Ana işlerin ihale sürecinde, sözleşme düzenlemeleri izin verdiği sürece, MJM'nin teklif sahiplerine aktarılmasını güvence altına alan sözleşme dokümantasyonu oluşturulmalıdır.

Tablo 1-4 MJM bileşenlerinin dokümantasyonuna ilişkin özet.

1. MJM bileşenlerinin dokümantasyonu, projelerde mühendislik jeolojisi modellerinin geliştirilmesi ve uygulanmasına ilişkin IAEG Kılavuzlarına uygun olmalıdır.
2. İşveren ile mutabık kalınan MJM Geliştirme Düzeyi (çalışmanın kapsamı) belirtilmelidir.
3. Tüm araştırmaların, gözlemlerin ve laboratuvar deneylerinin sonuçlarını, önceki tüm çalışmalardan elde edilen bilgiler de dahil olmak üzere sunan bir Veri Raporu sunulmalıdır.
4. Aşağıdakileri içeren bir Yorumsal Rapor sunulmalıdır (muhtemelen ayrı raporlar olarak):
 - (i) Masa Başı Çalışmasının Bulguları.
 - (ii) Kavramsal Model ve başlangıçta belirlenen temel riskler.
 - (iii) Kavramsal model ve jeolojik ortamdan kaynaklanan temel riskler dikkate alınarak saha incelemesi tasarımının gerekçesi.
 - (iv) Mühendislik jeolojisi birimleri- Proje mühendisliği bağlamında benzer jeolojik geçmişe ve benzer jeoteknik davranışa sahip litolojik birimler olarak tanımlanmalıdır.
 - (v) Mühendislik jeolojisi birimlerinin, hidrojeolojik koşulların ve jeolojik süreçlerin 3B mekandaki dağılımını ve bunların zaman içinde nasıl değişebileceğini belgeleyen bir Jeolojik Model.
 - (vi) Jeolojik Modelin her açıdan mühendislik özelliklerini ve ilgili jeoteknik parametrelerini sunan bir Jeoteknik Model. Her mühendislik jeolojisi birimi için bir mühendislik tanımı ve jeoteknik parametreler belirlenmelidir.
 - (vii) Yorumlanan Jeolojik ve Jeoteknik Modelleri göstermek ve projenin tüm jeoteknik unsurlarının mühendislik değerlendirmesini yapmak için uygun ölçeklerde haritalar, plan ve kesitler hazırlanmalıdır. Jeolojik, jeoteknik ve mühendislik projesi bilgilerinin genellikle tek bir çizimde veya çizim setinde birleştirilmesi faydalı olur.
 - (viii) Gerekirse bir Jeotehlike Değerlendirmesi hazırlanmalıdır.
 - (ix) Belgenin içeriğinde 3B sayısal model bulunuyorsa, 3B sayısal modelin raporu da sunulmalıdır.

1.3.4 MJM'nin raporlanması

Raporlamanın aşağıdaki şekilde açıkça bölümlendirilmesi gerekir:

- Veri bilgileri ve gözlemler.
- Kavramsallaştırmalar da dahil olmak üzere yorumlar.
- Görüşler.

Aşağıdaki rapor türleri için önerilen raporlama gereksinimleri aşağıda açıklanmıştır.

1.3.4.1 Veri Raporu

Bir veri raporu aşağıdaki bilgileri içermelidir, ancak bunlarla sınırlı değildir:

- Amaçlar ve mutabık kalınan kapsam.
- Proje alanının yeri ve tanımı.
- Mevcut verilere dayanarak proje alanının bölgesel ve yerel jeolojisinin ve antropojenik değişikliklerinin tanımı.
- Proje yerinde veya yakınında daha önce yapılmış herhangi bir araştırmanın detayları.
- Mevcut ve güncel araştırma yerlerini gösteren plan.
- Kullanılan araştırma yöntemleri.
- Yapılan araştırmaların sonuçları ve edinilen bilgiler.
- Laboratuvar ve *yerinde* yapılan deneyler ve sonuçların özeti.

Veri raporunun bir parçası olarak yapılan herhangi bir yorumlama, örneğin stratigrafik birimlerin tanımlanması veya jeofizik yorumlar açık bir şekilde kaydedilmeli ve alternatif yorumlar da dahil olmak üzere ilişkili belirsizlikler belgelenmelidir. Raporun esas olarak veri içeriğine dayanan ve yoruma açık unsurlarla ilgili herhangi bir sınırlamayı belirten bir 'sınırlama beyanı' eklenebilir.

1.3.4.2 Yorumsal Rapor

Yorumsal Rapor, aşağıdaki bileşenleri içermelidir, ancak bunlarla sınırlı değildir:

- Yorumun dayandığı verilere (ham veri veya Veri raporu) yapılan atıf.
- Masa başı çalışmasının bulguları.
- Kavramsal model ve başlangıçta belirlenen temel riskler.
- Kavramsal model ve temel riskler ile belirsizlikler dikkate alınarak saha incelemesi tasarımının gerekçesi.
- Araştırma bulgularına dayanarak, projenin aşağıdaki yönlerine ilişkin yeterince ayrıntılı ve belgelendirilmiş bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır:
 - Stratigrafi, litoloji, yaş, ayrışma ve alterasyon.

- Yapısal ortam, zayıflık düzlemi veya süreksizlik özellikleri.
- Jeomorfoloji ve ilgili yüzey ve yeraltı süreçleri.
- Yüzey ve yeraltısuyu koşulları.
- Muhtemel yer koşullarına ilişkin tüm jeolojik geçmiş.
- Proje sahasında yapılan herhangi bir antropojenik değişikliğe ilişkin ayrıntılar.
- Tanımlanan Mühendislik Jeolojisi Birimleri ve tanımlama gerekçeleri
- Jeolojik Model, mühendislik jeolojisi birimlerinin, hidrojeolojik koşulları ve jeolojik süreçlerin 3B mekandaki dağılımını ve bunların zaman içinde nasıl değişebileceğini, kontrol mekanizmalarını ve sınır koşullarını; ayrıca saha çevresinde gözlemlenen ve yorumlanan yeraltısuyu, jeomorfolojik süreçler ve jeotehlikeleri belgeler. Jeolojik Model, benzer mühendislik özelliklerine sahip litolojik birimleri tanımlamalı ve koşulların değişebileceği sınırları açıklamalıdır. Jeolojik Modelin bölgesel bağlamı da tartışılmalıdır. Jeolojik Modeldeki belirsizlikler tanımlanmalıdır. Proje ve raporlama gereksinimlerine bağlı olarak, sunulan Jeolojik Model belirli bir proje odaklı olabilir ve örneğin bir hidrojeolojik model veya bir kaya kütlesi modeli gibi daha spesifik bir model olarak tanımlanabilir.
- Jeoteknik Model, planlanan proje göz önünde bulundurularak, Jeolojik Modelin ilgili her bileşeninin mühendislik özelliklerini ve jeoteknik parametrelerini sunar. Belirlenen her mühendislik jeolojisi birimi için bir mühendislik tanımı ve jeoteknik parametreler belirlenmelidir. Malzeme özelliklerinin aralığı tanımlanmalı ve tipik parametre değerleri verilmelidir. Jeoteknik Modeldeki belirsizlikler de tanımlanmalıdır. Analizde kullanılacak mühendislik parametrelerinin seçimi yukarıda belirtilen bilgilere dayanmalıdır.
- Kullanılan bölgelendirme veya tanımlanan alanlar ile bunların benimsenme gerekçeleri.
- Gerektiğinde Jeotehlike Değerlendirmesi yapılmalıdır.
- Yer koşullarının proje üzerindeki etkilerine ilişkin bir mühendislik yorumu.
- Yorumlanan Jeolojik ve Jeoteknik Modelleri göstermek ve projenin tüm jeoteknik unsurlarının mühendislik değerlendirmesine katkı sağlamak amacıyla, sahayı ve çevresini kapsayan uygun ölçeklerde haritalar ve kesitler sunulmalıdır. Projeye bağlı olarak, Jeolojik Model ve Jeoteknik Model bilgilerini bir arada içeren çizimler, işverenlere, paydaşlara, sigortacılara veya kamuoyuna sunarken faydalı olabilir.
- Eğer dokümantasyonun bir parçası olarak 3B sayısal model bulunuyorsa, sayısal model belirsizliğini ve güvenilirliğini açıklayan bir 3B Sayısal Model Raporu hazırlanmalıdır. Yorumlanmış verileri içeren tüm ilgili veritabanı dosyaları ve 3B veri dosyaları (örneğin, mühendislik jeolojisi sınır yüzeylerine ait ağ (mesh) dosyaları) da bu rapora dahil edilmelidir.
- İlgili veya gerekli ise, ilerideki çalışmalara yönelik öneriler.

- Devam eden belirsizlikler.
- Gerekli görüldüğü takdirde, raporun herhangi bir yönüyle ilgili bir 'kısıtlama beyanı'.

1.3.4.3 Jeoteknik Temel Rapor

Bazı büyük projelerde, özellikle yeraltı çalışmalarında, Proje Sahibi ve mühendisleri, yer ile ilgili riskleri işveren ve yüklenici arasında tahsis etmek amacıyla bir Jeoteknik Temel Rapor (JTR) hazırlamayı tercih edebilirler. MJM bilgi çerçevesi, JTR'lerde sözleşme maddeleriyle bağlantılı olan 'sayısal temel değerler', 'karakteristik değerler' ve 'jeolojik ortam referans koşulları' gibi bileşenlerin geliştirilmesini destekler.

1.3.4.4 Mühendislik Jeolojisi Haritaları ve Kesitleri

Mühendislik Jeolojisi haritaları ve kesitleri, MJM bilgi çerçevesinin temel bir parçasıdır ve bu Kılavuza uygun olarak hazırlanmalıdır.

1.3.5 3B sayısal modelin oluşturulması ve görselleştirilmesi

Genellikle orta ile büyük ölçekli projelerde veya karmaşık jeolojiyle karşılaşıldığında, 3B sayısal modeller oluşturmak için yakın zamanda yazılım kullanma eğilimine bir geçiş olmuştur. Bu durum, MJM bilgi çerçevesinin diğer disiplinlerle birlikte çalışması açısından önemli bir gelişmeye yol açmıştır. Tipik bir 3B sayısal model geliştirme süreci aşağıda Şekil 1-4'te gösterilmiştir.

1.3.5.1 Modelleme Yazılımı

3B ve 2B sayısal modeller üretmek için kullanılan çok çeşitli yazılım paketleri bulunmaktadır.

1.3.5.2 Veri Kaynakları ve Yönetimi

Veri kümelerinin nasıl oluşturulduğu/değiştirildiği/yorumlandığı/depolandığı ile doğrulama ve geliştirme sürecinin diğer aşamalarına ilişkin açık, erişilebilir kayıtlar tutulmalıdır. Kontrol/gözden geçirme/doğrulama/onay sürecine yardımcı olmak için veri kümelerinin nasıl oluşturulduğu/değiştirildiği/yorumlandığı/depolandığına ilişkin açık ve erişilebilir kayıtları (meta veri) tutmak önemlidir. Orijinal veri kümeleri ile değiştirilmiş model veri kümeleri arasındaki bağlantılar tutarlılığı, hesap verebilirliği artırmak ve model belirsizliğine ilişkin işin içyüzünü anlamak için faydalıdır.

1.3.5.3 3B sayısal model dokümantasyonu

3B sayısal modelin her bir önemli versiyonuna bir Model Raporu eklenmelidir.

3B Sayısal Model Raporu şunları içermelidir:

- Proje, modelin amacı ve kapsamı.
- Sahaya ait mühendislik jeolojisi özeti.
- Modelin coğrafi kapsamı, ölçeği, uygulanabilirliği ve kullanılan koordinat sistemi.

- Yeraltı verileri, harita verileri, yüzey/yeraltı nokta verileri ve sayısal modeli oluşturmak için kullanılan yüzeyler ve ağlar dahil olmak üzere model girdileri, farklı veri kümelerinin kalitesinin ve güvenilirliğinin değerlendirilmesi ve bunların modele dahil edilmesi için hangi işlemlerin/dönüşümlerin yapıldığı.
- Sayısal modelde gösterilen birimler ve sınırlayıcı yüzeyler, modelin amacına bağlı olarak jeolojik, mühendislik jeolojisi, jeomorfolojik, hidrojeolojik veya jeokimyasal olabilirler.
- Kullanılmayan veri setleri ve bunların çıkarılma nedenleri.
- Modelin güvenilirliği ve durumunun, modeldeki diğer varsayımlar ve belirsizlikler, model güvenilirliği ve ilgili riskler dahil olmak üzere özetlenmesi.
- Doğrulama kanıtı.
- Modelden elde edilen çıktıların, sınırlamalar da dahil olmak üzere özeti.
- Model Karar Kaydı ve 3B sayısal modelin veri yönetimi/versiyon geliştirme işlemlerinin listesi:
 - Karar tarihi.
 - Karar/değişiklik detayı.
 - Kararın/değişikliğin gerekçesi.
 - Doğrulama/gözden geçirme yorumları.

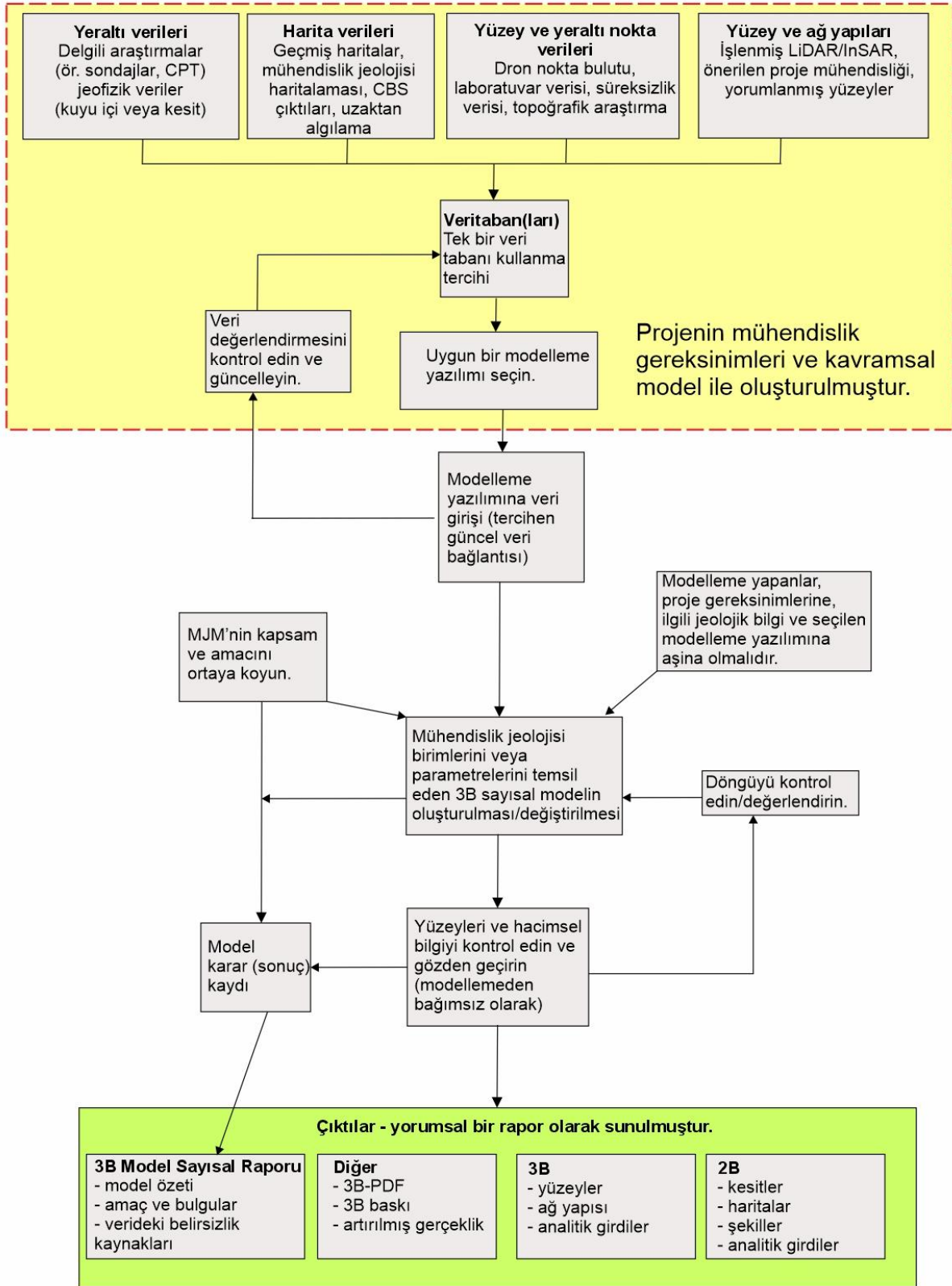
3B Sayısal Model Raporu, 3B sayısal model her güncellendiğinde tekrar düzenlenmelidir. Birden fazla alanda araştırmaların yapıldığı daha büyük projelerde, model doğrudan veri tabanlarına bağlanabildiği ve yeni veriler otomatik olarak dahil edilebildiği için model günlük olarak güncellenebilir. Yeni veriler modele aktarıldığında, yetkin bir mühendislik jeoloğu bu verileri kontrol etmeli, mevcut yorumların uygunluğunu değerlendirmeli ve yeni veri setini entegre edebilmek için gerekli elle düzenlemeleri yapmalıdır.

1.3.5.4 3B sayısal modellerin incelenmesi

3B sayısal modellerin incelenmesi, yapımında yer alan sürecin kalitesi, anlaşılabilirlik ve belirsizliklere ilişkin şeffaflık vurgulanarak modelin güvenilirliğini göstermelidir. En önemlisi, model çıktıları ile gözlemlenen ve yorumlanan mühendislik jeolojisi koşulları arasındaki uyum gösterilmelidir.

3B sayısal modeller geliştirildiğinde, altta yatan MJM'ye bağlantının açıkça izlenebilmesi ve tescilli yazılım gerektirmeden incelenebilmesi amacıyla 2B plan ve kesitlerin de oluşturulması önerilmektedir. Açıklayıcı planların ve kesitlerin geliştirilmesi, çoğu zaman modeldeki mühendislik jeolojisine ait 'düzensizliklerin' tespiti açısından da yararlıdır.

Aşağıda, Tablo 1-5'te verilen kontrol listesi, 3B sayısal modelin geliştirildiği durumlarda gözden geçirme ve doğrulama sırasında dikkate alınması gereken belirli maddeleri içermektedir.



Şekil 1-4 Tipik bir 3B sayısal model geliştirme süreci.

Tablo 1-5 3B sayısal modellerin incelenmesine yönelik kontrol listesi.

Anahtar aktivite	Durum
Modelin amacı açıkça tanımlanmış mı?	
Modelin kapsamı, modelin etkilere ilişkin değerlendirmelerde kullanılacak olması durumunda projenin olası etkilerini kapsıyor mu?	
Modeli oluşturmak için kullanılan veri kaynakları açıkça belirtilmiş mi?	
Modelin amacına uygun olarak mevcut verilerin kalitesi yeterli mi?	
Model içerisine dâhil edilmesi gereken başka potansiyel olarak faydalı veri kaynakları var mı?	
Modelden özel olarak çıkarılan verilerin göz ardı edilmesi uygun mudur ve bu kaynakların neden uygulanabilir kabul edilmediğine dair gerekçeler belirtilmiş midir?	
Model alanı boyunca yeterli sayıda veri noktası mevcut mu ve bu noktaların dağılımı uygun bir temsili yorum yapmak için yeterli mi?	
Kullanılan veriler üzerinde yapılan işlemler uygun ve jeolojik açıdan mantıklı mı?	
Model, MJM Geliştirme Düzeyine uygun olarak gözden geçirildi mi?	
Modelleyici tarafından, Gözden Geçirici kişiye model detaylı şekilde anlatıldı mı?	
Açıklayıcı haritalar ve kesitler hazırlandı mı?	
Model Karar Kaydı, belirlenen belirsizlikler ve ilişkili riskler ile güvenilirliği artırmaya yönelik önerileri içeren bir 3B Sayısal Model Raporu hazırlandı mı?	

1.3.5.5 3B sayısal modellerin çıktıları

3B sayısal model ve çıktılar kontrol edilip doğrulandıktan ve yayınlanmaya hazır hale geldikten sonra sayısal modelin kendisi ve belirtilen çıktılar teslim edilebilir. Çıktıların niteliği, bilginin nasıl sunulacağını etkileyecektir. Proje gereksinimlerine bağlı olarak 3B veya 2B çıktılar (veya her ikisi) olabilir ancak bu en etkili sunum yöntemi değilse görselleştirme yazılımına gerek olmayabilir- haritalar, çizelgeler, şematik çizimler, sunumlar vb. daha etkili olabilir. Çıktıların sunum biçimi ve içerdiği ayrıntı düzeyi, hedef kitleye göre uyarlanmalıdır.

[Daha fazla bilgi için Bakınız Açıklamalar Bölümü 2.3 MJM'NİN TOPLANMASI VE ANLAŞILIRLIĞI](#)

1.4 MJM'DE BELİRSİZLİK YÖNETİMİ

1.4.1 Giriş

MJM'deki belirsizlik, mühendislik projesinin güvenilirliğini azaltabilir ve proje risklerini artırabilir. Bu nedenle, belirsizlikler değerlendirilerek buna yönelik stratejiler geliştirilmeli ve belirsizlik ile ilişkili proje riskleri kabul edilebilir seviyelere indirilmelidir.

1.4.2 Belirsizliğin kaynakları

Bilginin MJM içinde biriktirme biçimi, kavramsal bileşen ile gözlemsel bileşen arasındaki dinamik ilişkiyi yansıtır. MJM'nin bu iki temel bileşeni, farklı belirsizlik kaynaklarıyla karakterize edilir: kavramsal belirsizlik ve gözlemsel belirsizlik.

- Kavramsallaştırma sürecinde ortaya çıkan belirsizlik, bilgi eksikliği veya önyargılardan kaynaklanır. Bu, epistemik belirsizlik olarak da bilinir; ancak referans kolaylığı için bu Kılavuz kavramsal belirsizlik terimini benimsemiştir. Kavramsal belirsizlik, öncelikle MJM'nin altında yatan kavramların uygunluğunu yansıtır ve bu da büyük ölçüde sürece dahil olan kişilerin bilgi ve deneyimine bağlıdır.
- Gözlemsel modeldeki verilere ilişkin belirsizlik, yerin içsel özelliklerinin değişkenliği ve rastgeleliği ve test cihazlarının ölçüm doğruluğundan kaynaklanır. Bu, rastgele belirsizlik olarak bilinir ancak referans kolaylığı için bu Kılavuz gözlemsel belirsizlik terimini benimsemiştir. Doğrudan gözlem yapılan noktaların az olduğu alanlarda belirsizlik düzeyi, yoğun gözlem yapılan alanlara göre daha fazladır. Ayrıca gözlemsel modeldeki verilerin her türlü yorumu da kavramsal belirsizlik içerir.

1.4.3 İnceleme yoluyla MJM güvenilirliğinin bütünsel değerlendirmesi

Projenin gözden geçirilmesi, MJM'nin gözlemsel ve kavramsal bileşenlerinin güvenilirliğini ayrı ayrı ele almak yerine bütünsel olarak değerlendirmelidir. Projenin Geliştirme Düzeyi, uygulanacak gözden geçirme türü konusunda rehberlik sağlar (Bölüm 1.2.2. – Tablolar 1-2 ve 1-3).

- Seviye 1 projeleri için dahili incelemeler MJM güvenilirliğine dair temel bir kontrol sağlayacaktır. MJM'den sorumlu proje ekibinden başka bir mühendislik jeoloğu modelin geliştirilmesi ve iyileştirilmesinin kontrolünü üstlenmelidir. Kavramsal bileşenin güvenilirliği eğitim, deneyim ve literatürden türetilen uygun kavramsal benzerliklerle kıyaslanmalı ve gözlemsel bileşenin kavramsal bileşenle uyumluluğu değerlendirilmelidir.
- Seviye 2 projeleri için incelemeler Seviye 1'deki gibi olacak ancak harici uzmanlar tarafından gerçekleştirilecektir. Bunlar proje ekibi haricinde veya kurum dışından olabilir.
- Seviye 3 projeleri için, MJM'nin güvenilirliğini değerlendirmek için uzman kişilerden oluşan bağımsız bir inceleme kurulu (paneli) oluşturulması önerilir. Bu kurul, projenin belgelerini içerik, bütünlük ve güvenilirlik açısından bağımsız olarak incelemeli ve değerlendirmelidir. Uzmanlar, işveren tarafından bağımsız danışmanlar olarak atanmalıdır.

1.4.4 MJM'nin belirsizliğini ve güvenilirliğini değerlendirmenin diğer yöntemleri

MJM'ye katkıda bulunan tüm bilgilerin hem belirsizliği hem de güvenilirliğinin değerlendirilmesi gerekir. MJM'nin gözlemsel bileşeni için, bu tür kontroller nispeten basittir ve çoğunlukla nitel veya nicel olarak gerçekleştirilebilir. Ancak, nicel yöntemler kavramsal anlayıştaki hatalardan kaynaklanan güvenilirlik sorunlarını yalnızca nicel yöntemlerle azaltmak mümkün değildir. MJM'nin bu bileşeni yalnızca nitel yaklaşımlarla kavramların doğruluğunu kontrol ederek değerlendirilebilir ve böylece güvenilirlik düzeyi doğrulanabilir.

1.4.4.1 Kavramsal bileşenin güvenilirliğini değerlendirme

MJM'nin kavramsal bileşeninin değerlendirilmesine yönelik bir yaklaşım Şekil 1-5'te gösterilmiştir. Bu yaklaşım, projenin tüm aşamalarında kişiler, eş düzeydeki mühendis değerlendiriciler ve uzman panelleri tarafından benimsenmelidir. Ancak, bir MJM'nin kavramsal güvenilirliğinin temel nitel kontrolleri, geliştirilirken dahil olan bireyler tarafından da yapılmalıdır. Öz-kontrol veya iç kontrol yapıldığında sonuçlar belgelenmelidir.



Şekil 1-5 MJM'nin kavramsal bileşeninin güvenilirliğini değerlendirme yaklaşımı.

1.4.4.2 Gözlemsel bileşenin güvenilirliğinin değerlendirilmesi- nitel yaklaşımlar

MJM'nin gözlemsel bileşeninin güvenilirliği, tematik haritalar ve veri kümelerinin güvenilirliğinin sınıflandırılması gibi yöntemler kullanılarak nitel yöntemlerle ifade edilebilir.

1.4.4.3 Gözlemsel bileşenin güvenilirliğinin değerlendirilmesi- yarı-nicel yaklaşımlar

MJM'nin bileşenlerinin derecelendirildiği ve çeşitli puanların birleştirilerek güvenilirliğin sıralı sayısal değerlendirmesinin sağlandığı çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

1.4.4.4 Gözlemsel bileşenin güvenilirliğinin değerlendirilmesi- nicel yaklaşımlar

Nicel değerlendirmeler MJM'nin gözlemsel bileşenlerinin değerlendirilmesiyle sınırlıdır ve üç yöntem grubu kullanılabilir:

- Rastgele Alan Simülasyonları ve Rastgele Sonlu Elemanlar Yöntemi (RFEM, Monte Carlo simülasyonu içerisinde sonlu elemanlar analizi ile rastgele sanal jeolojik ortam kullanımını içerir).
- Jeostatistiksel yöntemler (hem durağan hem de durağan olmayan, örneğin kriging yöntemleri).
- Stokastik simülasyonlar.

[Daha fazla bilgi için Bakınız Açıklamalar Bölümü 2.4 MJM'DE BELİRSİZLİK YÖNETİMİ](#)

1.5 MJM KALİTESİNİN SAĞLANMASI

1.5.1 MJM geliştirme sürecinin kalitesinin kontrol edilmesi

Bu Kılavuz uygulanırsa uygun kalitede bir MJM elde edilebilir. Bu Kılavuz ile uyum için bir QA/QC (Kalite Güvencesi/Kalite Kontrolü) kontrol listesi Tablo 1-6'da verilmiştir.

Tablo 1-6 MJM QA/QC İşlem Kontrol Listesi

Temel aktivite	Durum
Bir incelemeciye de içeren etkili, yetkin bir ekip oluşturuldu mu?	
MJM'nin kapsamı ve amacı açıkça tanımlandı mı?	
MJM ihale dokümanı/teknik şartnamesine uygun mu?	
Proje açısından önem taşıyan ilgili mühendislik ve jeolojik bilgiler masa başı çalışmasında bir araya getirildi mi?	
MJM'nin sunumu için uygun bir coğrafi bölge ve ölçek belirlendi mi?	
Uygun bir kavramsal model masa başı çalışmasına dayanarak belgelendi mi ve makul mü?	
Yer araştırmaları, kavramsal modelde belirlenen belirsizlikleri azaltacak şekilde tasarlandı mı?	
Gözlemler, araştırmalar yoluyla elde edilmiş ve veri olarak belgelendi mi?	
MJM'nin hazırlanmasında kullanılan veri kaynakları açıkça belirtildi mi?	
MJM'nin amaçlarını karşılamak için mevcut verilerin kalitesi yeterli mi?	
Potansiyel olarak faydalı olabilecek başka veri kaynakları var mı?	
MJM'ye özellikle dâhil edilmeyen veriler var mı ve bunların çıkarılması makul mü?	
Gözlemler ile kavramlar ilişkilendirilmiş mi ve çeşitli mühendislik jeolojisi koşulları kavramsallaştırılarak yorumlandı mı?	
Mühendislik jeolojisi birimleri ve bu birimlerin mühendislik özellikleri tanımlandı mı?	
Jeolojik Model sunuldu mu?	
Jeoteknik Model sunuldu mu?	
Jeotehlike Değerlendirmesi yapıldı mı?	
Bilgi çerçevesinde önemli riskler, boşluklar ve tutarsızlıklar tespit edildi mi?	
Mühendislik analizinde kullanılmak üzere bilgiler sağlandı mı?	
MJM bilgi çerçevesinin tamamı belgelendi mi?	
Proje açısından önem taşıyan mühendislik jeolojisi koşullarını gösteren haritalar ve kesitler sunuldu mu?	
MJM'yi iyileştirmek, riskleri azaltmak, tasarımı ileriye taşımak veya taleplerle başa çıkmak için amacıyla ek bilgi gereksinimleri belirtildi mi?	
3B sayısal model geliştirildiyse, Tablo 1-5'teki kontrol listesi tamamlandı mı?	

MJM, jeolojinin ve projenin karmaşıklık düzeyine uygun nitelikte ve deneyimli yetkin bir mühendislik jeoloğu tarafından gözden geçirildi mi?	
--	--

[Daha fazla bilgi için Bakınız Açıklamalar Bölümü 2.5 MJM KALİTESİNİN SAĞLANMASI](#)

Projelerde mühendislik jeolojisi modellerinin geliştirilmesi ve uygulanmasına ilişkin kılavuzlar

2 AÇIKLAMALAR

2.1 MJM GELİŞTİRME İLKELERİ

2.1.1 Tanımlar

Açıklama yok.

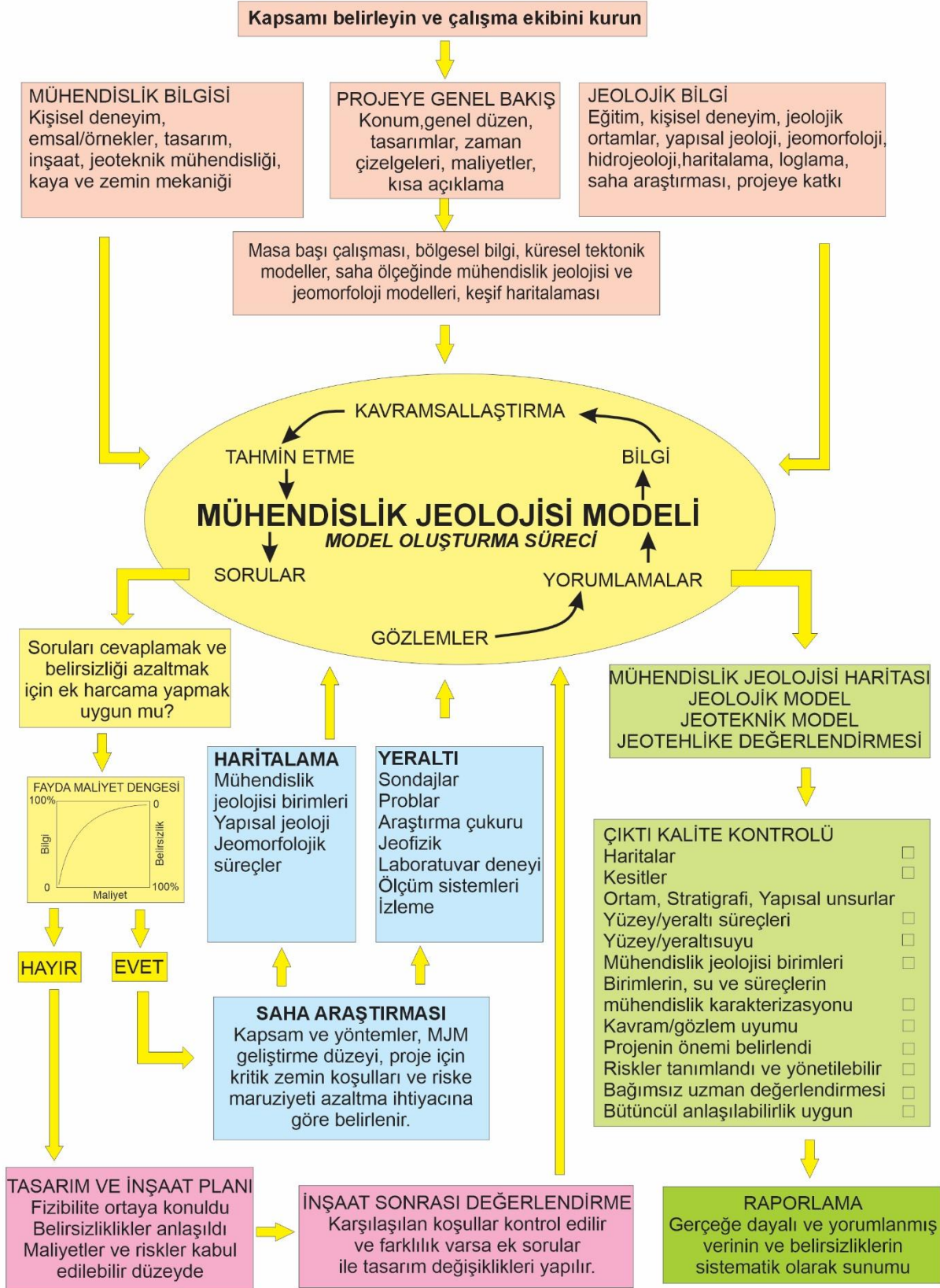
2.1.2 Temel ilkeler

Açıklama yok.

2.2 MJM GELİŞTİRME SÜRECİ

2.2.1 Geliştirme sürecine genel bakış

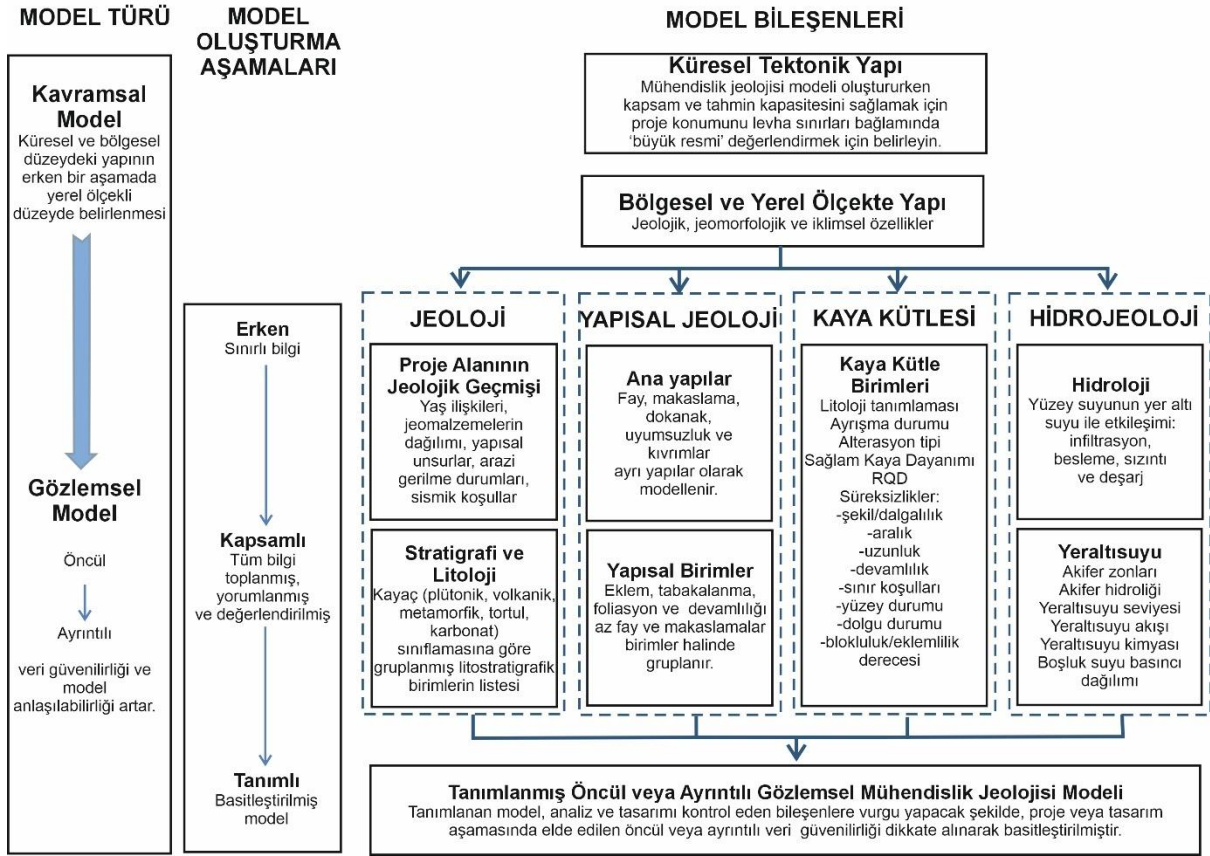
MJM geliştirme sürecine genel bir bakış Şekil 2-1’de verilmiştir.



Şekil 2 -1 MJM geliştirme süreci.

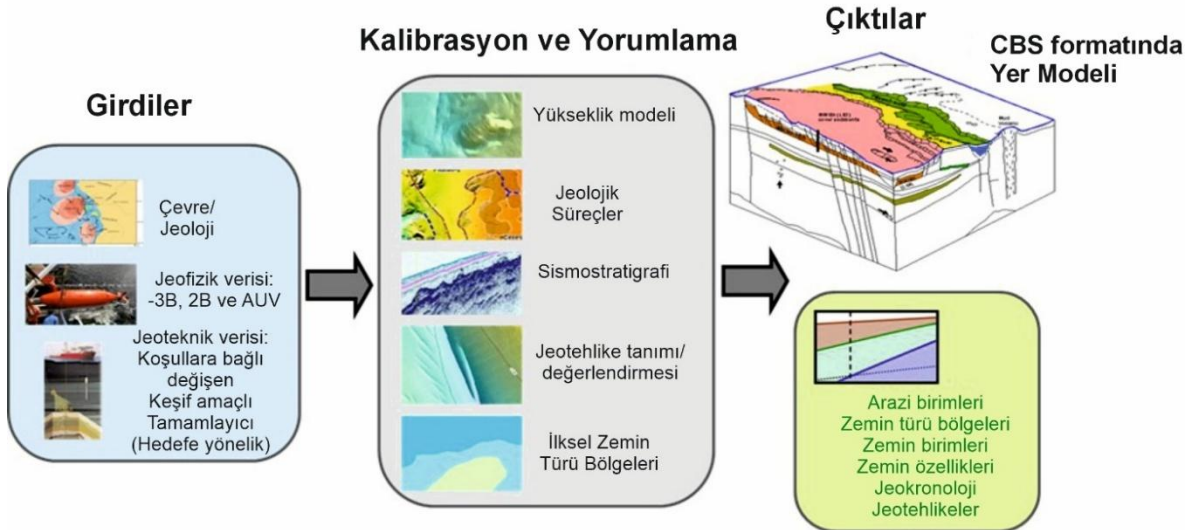
Şekil 2-2’de kaya şev mühendisliği için MJM geliştirme sürecine ilişkin bir görsel verilmiştir.

KAYA ŞEV MÜHENDİSLİĞİ İÇİN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ MODELİ BİLEŞENLERİ



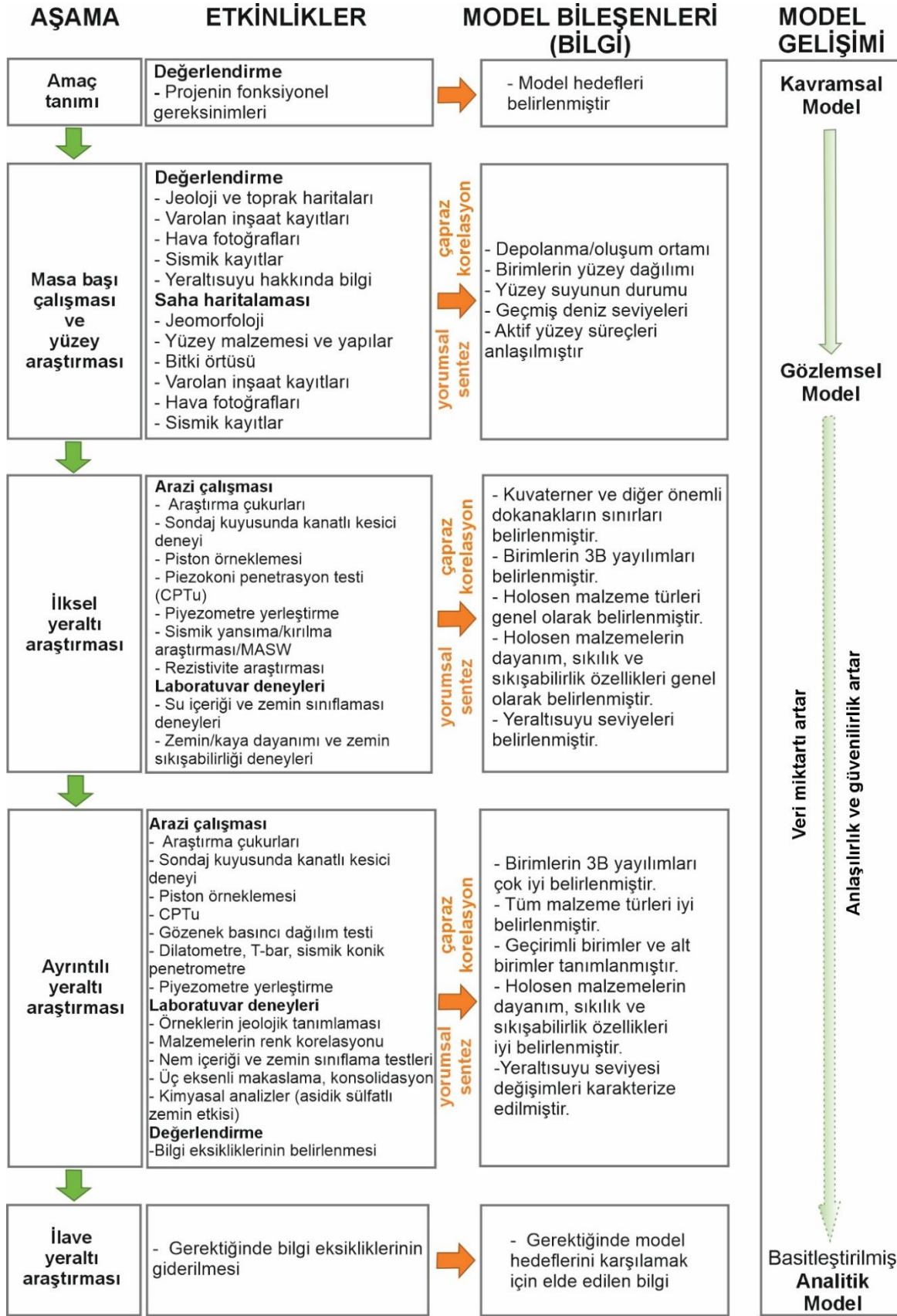
Şekil 2 -2 Kaya şev mühendisliği için MJM geliştirme süreci (Eggers, M., Baynes ve Parry 2022'deki kaya mühendisliği projeleri için MJM'ler).

Açık deniz mühendisliği için MJM geliştirme sürecine ilişkin bir görsel Şekil 2-3'te verilmiştir.



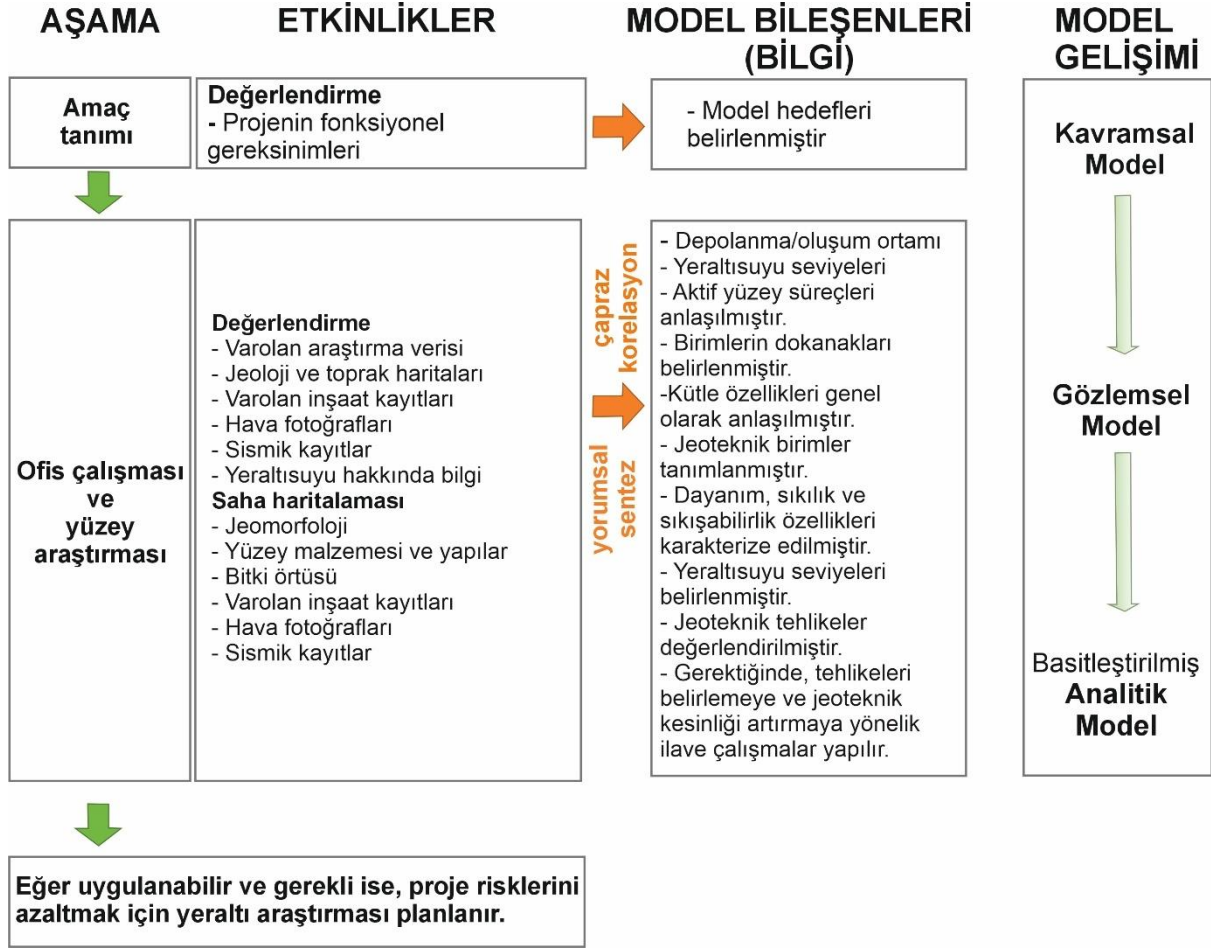
Şekil 2 -3 Açık deniz çalışmaları için MJM geliştirme süreci (Waring, D., Baynes & Parry 2022'deki açık deniz çalışmaları için MJM'lerden).

Yer mühendisliğinde MJM geliştirme sürecine ilişkin bir akış şeması Şekil 2-4'te verilmiştir.



Şekil 2 -4 Açık deniz mühendisliği için MJM geliştirme süreci (Shipway, I., Baynes & Parry 2022'deki yer mühendisliği çalışmaları için MJM'ler).

Küçük projeler için MJM geliştirme sürecine ilişkin akış şeması Şekil 2-5'te verilmiştir.



Şekil 2 -5 Küçük projeler için MJM geliştirme süreci (Shipway, I., Baynes & Parry 2022'deki küçük projeler için MJM'ler).

2.2.1.1 Geliştirme süreci

Açıklama yok.

2.2.1.2 İlk adımlar

Açıklama yok.

2.2.1.3 MJM geliştirme için faydalı teknikler

MJM geliştirirken dikkate alınması gereken faydalı teknikler şunlardır:

- Modeller geliştirilirken kavramları, gözlemleri ve yorumları sürekli sorgulayın. Esnek olun ve fikrinizi değiştirmeye hazır olun.
- Büyük resme genel bakış esastır- MJM oluşturulurken uzak alanlardan yakın alana doğru çalışılmalıdır, yani geçmiş ve mevcut tektonik rejim ve uzun vadeli jeolojik ve jeomorfolojik gelişim süreçleri gibi bilgileri göz önünde bulundurun ve ardından bu

bilgiyi saha ölçeğindeki koşulları ve değerlendirme gerektiren sahanın ötesindeki etki alanlarını değerlendirmek için kullanın. Küçük ölçekli ilk bilgi kümelerinden büyük ölçekli modellerin geliştirilmesi gerekebilir.

- Çok büyük ölçekli gelişmeler veya büyük miktarda bilgi içeren çok karmaşık modeller zorlayıcı olabilir. MJM, tasarım/proje sorunlarının özünü yakalamalı ancak aynı zamanda içsel mühendislik jeolojisi değişkenliğini ve projede ortaya çıkabilecek olası değişiklikleri değerlendirebilecek kadar sağlam olmalıdır.
- MJM, zaman boyutunu da hesaba katmalıdır; örneğin, jeomorfolojik süreçlerin meydana gelme hızı ve tasarım ömrü boyunca mühendislik yapısı üzerindeki olası etkisi.
- Bilindiği takdirde, önerilen yapı yerleşimi (ölçekli olarak çizilmiş) tüm planlara, kesitlere ve 3B görselleştirmelere yerleştirilmelidir. Bu, proje ilerledikçe tesis ekleme, taşıma veya çıkarma gibi projedeki tüm revizyonları içermelidir.

MJM geliştirirken yapılan yaygın hatalar şunlardır:

- Önceden tasarlanmış bir modele uymayan veya onunla çelişen verileri veya gerçekleri yok saymak. Veriler, temelde hatalı olduğu gösterilemediği sürece yok sayılmamalıdır, bu durumda veri setinden çıkarılmadan önce yeniden yorumlama denenmelidir. Çelişkili bilgilerin genellikle kavramsal model geliştirme sırasında dikkate alınmayan jeoteknik karmaşıklığı gösterebileceğini unutmayın.
- Yanlış ve yetersiz ve/veya projeye ilgisi olmayan kavramsal fikirler geliştirmek.
- Sahaya ait tarihsel verilerin veya bilgilerin yalnızca güncel Standartlara uygun olarak kaydedilmemiş olması veya projenin daha önceki aşamalarında edinilmiş olması nedeniyle göz ardı edilmesi.
- Sadece yeraltı verilerini kullanarak, yüzeydeki mühendislik jeolojisi ve jeomorfolojik haritalama çalışmalarını ihmal etmek.
- Saha ve çevresinin sistematik mühendislik jeolojisi haritalamasının yapılmaması veya sadece seçilmiş, kolay ulaşılabilir alanlarda haritalama yapmak.
- Neden, sonuç veya çözümden geriye doğru çalışmak.
- Çarpıtılmış veya uygunsuz ölçekler kullanmak. Proje için yanlış ölçekte veri toplamak. Çapraz ve uzun jeolojik kesitlerde abartılı ölçekler kullanmak (eğer bunların kullanımı gerekliyse doğal ölçekli bir kesit de sunulmalıdır).
- Ayrım gözetmeksizin her ayrıntıyı dahil etmeye çalışmak.
- İncelenen saha veya problemin ötesine bakmamak. Örneğin, jeomorfolojik açıdan bir projenin 'arazi şekli durumu' bağlamında değerlendirilmesi gerekir.
- Verilerin güvenilirlik derecesine bakılmaksızın veri veya bilgi eklemek.
- Verilerin izin verdiği kadar fazla ayrıntıyı yorumlamak.
- Alternatif yorumları dikkate almamak ve bildirmemek.

2.2.1.4 MJM geliştirmek için gereken bilgi ve beceriler

İyi bir MJM oluşturmak için gereken bilgi ve beceriler şunlardır:

- Jeolojik süreçler, kaya/zemin oluşum ortamları ve ayrışma, yamaç oluşumu ve gerilme boşalımı gibi kaya/zemin yapısını değiştiren ortamlar hakkında bilgi (yani jeolojik bilgi).
- 4B (yani 3 mekansal boyut ve zaman boyutu) olarak düşünebilmek.
- Mühendislik jeomorfolojisinin, özellikle de sıklıkları (zaman içinde) ve büyüklükleri (hacim, mekansal kapsam, gelişme ve yayılma hızı) ile jeomorfolojik süreçlerin anlaşılması.
- Zemin mekaniği, kaya mekaniği ve hidrojeoloji açısından doğal veya antropojenik değişimlere karşı yer tepkisinin anlaşılması (yani mühendislik bilgisi),
- Detaylara bakabilme ve detayları bütünsel çerçevede değerlendirebilme, bilgileri eleştirel bir şekilde değerlendirebilme, içsel ve bilinçsiz önyargıların etkisini aşabilme yeteneği.
- Coğrafi akıl yürütme ve bilimsel yöntemin anlaşılması. Hem tümevarımsal akıl yürütmenin (belirli bir türde basit gözlemler yapma ve bu gözlemleri genelleme yoluyla farklı bir soruna uygulayarak karar verme süreci) hem de tümdengelimli akıl yürütmenin (bir dizi öncül uygulanan mantıksal kurallara dayalı sonuçlara ulaşma) kullanılması.
- Gerçekçi ve başarılı MJM'leri oluşturma konusunda deneyim sahibi olmak.
- Ek bir uzman teknik desteğinin ne zaman gerekli olduğunu anlamak. Bu destek, hidrojeoloji, çevre jeolojisi, jeomorfoloji, jeofizik, yapısal jeoloji, jeotehnikeler, toprak bilimi ve jeoteknik veya baraj mühendisliği gibi ilgili mühendislik disiplinlerindeki meslektaş uzman profesyonellerden girdi verisi talebini içerebilir.

2.2.2 MJM gelişim düzeyinin seçimi

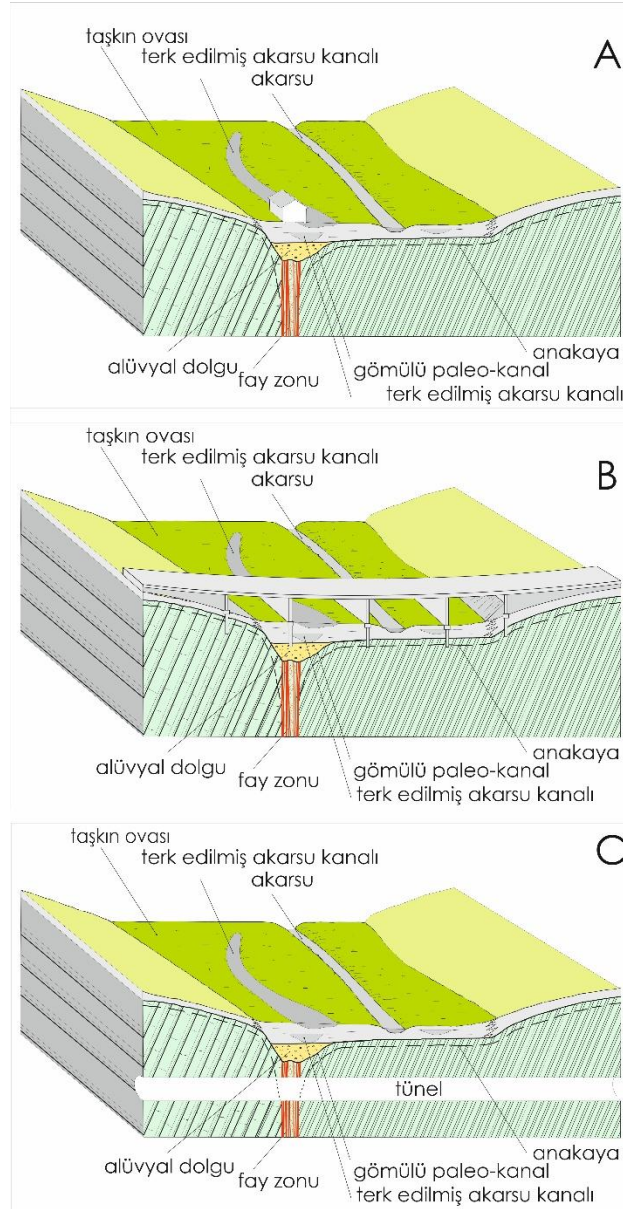
Açıklama yok.

2.2.3 Geliştirme sürecinin detayları

2.2.3.1 Çalışma ekibini bir araya getirin, kapsamı ve amacı tanımlayın

Aynı lokasyondaki farklı projeler, jeoloji ile proje arasındaki potansiyel etkileşimin değişkenliği nedeniyle farklı modellerin geliştirilmesini gerektirir.

Şekil 2-6, aynı jeolojinin farklı yönlerinin projenin niteliğine bağlı olarak nasıl önem kazandığını göstermektedir (A - tek katlı bina, B - karayolu köprüsü, C - tünel). Binanın yer yüzeyine düşük bir düşey gerilme uygulaması beklenmektedir. Köprü kazıklarının derinleştikçe yere daha yüksek düşey ve yanal gerilimler uygulaması ve tünelin ise derindeki yeraltısuyu akış rejimini boşaltması ve değiştirmesi beklenmektedir (Parry vd., 2014'ten).



Şekil 2-6 Proje türünün MJM'ye etkisi. Springer Nature'dan izin alınarak yeniden basılmıştır. Mühendislik Jeolojisi ve Çevre Bülteni. Parry *vd.*, 2014, Mühendislik jeolojisi modelleri – bir giriş: IAEG Komisyonu 25.

2.2.3.2 İlgili mühendislik ve jeolojik bilgileri bir masa başı çalışmasında bir araya getirin

Bir masa başı çalışması sırasında (mümkün olduğu takdirde) erişilmesi gereken tipik bilgi kaynakları Tablo 2-1'de sunulmaktadır.

Tablo 2-1 Bir Masa Başı Çalışması için Bilgi Kaynakları (Shilsto vd., 2012'den).

<i>Konu</i>	<i>Bilgi kaynağı örnekleri</i>
Topoğrafya	Haritalar, hava fotoğrafları, uydu ve hava görüntüleri, LiDAR araştırmalarından elde edilen SYM veya SAM, InSAR verileri
Jeomorfoloji, jeoloji, hidrojeoloji ve mühendislik jeolojisi	Haritalar, resmi olmayan kayıtlar ve raporlar, hava fotoğrafları, uydu ve hava görüntüleri (LiDAR'dan üç boyutlu gölgelendirme veya gölgeli rölyef dahil), bilimsel makaleler ve kitaplar, maden ve taşocağı kayıtları, tematik veri tabanları, önceki yer/saha araştırmaları, yeraltısuyu kullanım kayıtları, bölgesel jeotehlike verileri (örneğin sismik tehlikeler)
Çevre ve arazi kullanım planlaması	Planlama haritaları, hava fotoğrafları, uydu ve hava görüntüleri, Google Earth, kentsel jeoloji raporları ve haritaları, arkeolojik alan ve tarihi bina kayıtları, zemin araştırmaları, kirlenmiş saha kayıtları, Çevre Etki Değerlendirmesi (ÇED) raporları, iklim kayıtları, nehir ve kıyı bilgileri
Saha koşulları, arazi kullanımı ve geçmişi	Tarihsel haritalar, tarihi belgeler, hava fotoğrafları, uydu ve dijital hava görüntüleri (LiDAR kaynakları dahil), arazi kullanımı ve planlama haritaları, saha inceleme raporları, jeoteknik özellikler ve jeotehlikeler, veri tabanları, InSAR verileri, daha önceki inşaatlardan elde edilmiş haritalama verileri
İlk saha ziyareti/keşif	- 'Uzman göz' ile yapılan saha ve çevre incelemesi - Gerçek saha koşullarının gözlemlenmesine yönelik keşif - Belirli yerlerin ziyaret edilmesi
Yerel bilgi	Yerel tarih ve jeoloji kurum/kuruluşları, önceki saha kullanımları, inşaat kayıtları, yapı denetim ofisleri, gazeteler, bölgesel ve ulusal jeolojik araştırmalar, bitişikteki sahalara yönelik araştırmalar
Önceki örnek	Vaka incelemeleri, inşaat kayıtları
Teknik şartnameler, standartlar, yönetmelikler ve teknik rehberler	Meslek kuruluşları ve enstitüler, devlet kurumları, araştırma kuruluşları ve üniversiteler

Herhangi bir literatür taramasında gerçek ile kurgu arasında ayırım yapılması gerekir. Potansiyel olarak alakalı bilgiler içeren çok sayıda internet sitesi vardır; ancak bu kaynakların hepsi güvenilir veri sağlamaz. Güvenilir sitelere erişim kritik önem taşır ve en uygun olanlar ulusal, bölgesel ve yerel kamu kurumları ve kuruluşları, müzeler, üniversiteler, eğitim ve meslek kuruluşları, standart enstitüleri vb.'dir (Griffiths, 2019). Şirket internet siteleri, ulusal ve bölgesel gazete arşivleri ve anekdot niteliğindeki kanıtlara bir miktar şüpheyle yaklaşılmalıdır.

Birçok büyük projede, kağıt üzerinde belgelenmiş mevcut haritaların ve kesitlerin masa başı çalışmasına dahil edilmesi gerekecektir; bu durumda bazı temel kurallar geçerlidir:

- Mümkün olduğunca tüm veri kaynaklarının ve arşivlenmiş materyallerin bulunduğundan emin olunmalıdır. Bu arşivlenmiş kayıtlar genellikle eksik ve karmaşık olduğundan ciddi bir çaba gerektirebilir. Gizlilik ve telif hakkı ile ilgili hususlar da dikkate alınmalıdır.

- Eski kayıtlarda kullanılan projeksiyon ve datum sistemlerinin anlaşıldığından ve MJM'de kullanılan projeksiyon ve datuma uygun şekilde ilişkilendirildiğinden emin olunmalıdır. CBS, tüm masa başı çalışma kayıtlarının mekansal değerlendirilmesinde ve verilerdeki örüntülerin belirlenmesinde son derece değerlidir.

2.2.3.3 Kavramsallaştırma

Kavramsal çerçeveyi geliştirmede temel strateji, sahanın “tüm jeolojik geçmişinin” anlaşılması gerektiğidir (Fookes vd., 2000). Bu strateji, kayanın/zeminin mühendislik özelliklerinin, proje alanının tüm jeolojik geçmişi ile daha sonraki antropojenik değişimlerin bir sonucu olduğu varsayımına dayanmaktadır.

Kavramsallaştırma, benzer jeolojik ortamlara, malzeme türlerine veya süreçlere ve benzer proje tiplerine ya da karmaşıklık seviyelerine dair bilgi ve deneyime dayanarak, bir projenin olası jeolojik etkileri hakkında daha derin bir anlayışın ortaya konması fırsatını da sunar. Bu süreç, MJM'nin geliştirilmesinde merkezi bir rol oynar ve proje yaşam döngüsünün tüm aşamalarında gerçekleşir. Kavramsal yaklaşım, varsayımsal modeller üretir. Bu modeller, doğrudan mevcut veri türü ve miktarıyla modele katkı sağlayan uzmanların bilgi ve deneyimine doğrudan bağlı olarak nispeten yüksek derecede belirsizlik içerebilir.

Kavramsal modeller şu şekilde olabilir:

- Sahaya özgüdür; gözlemsel verilerin yorumlanması için bir çerçeve sunar ve araştırılan söz konusu sahada karşılaşılabilecek yer koşullarının öngörülmesini sağlar.
- Belirli bir lokasyondan bağımsız olarak örneğin genel iklimsel veya yapısal jeolojik ortamlar hakkında bilgi sunan genel kavramsal modeller.
- Jeolojik zaman boyunca yer koşullarının nasıl evrimleştiğini gösteren zamansal kavramsal model (bazen evrimsel model olarak da adlandırılır).

Tablo 2-1’de listelenen veri kümeleri, MJM ile ilgili bilgileri aşağıdaki şekilde yorumlamak için kullanılabilir:

Topoğrafik haritalar:

- Coğrafi konum; dolayısıyla mevcut iklim ve arazi kullanımı.
- İlk jeomorfolojik haritalama.
- Yapısal çizgiselliklerin belirlenmesi.
- Ana akarsuların ve diğer su kütlelerinin belirlenmesi.
- Antropojenik değişiklikler – haritalanmış taş ocakları, dolgu alanları, maden shaftları, setler, yarma, sondaj vb.
- Taşkın yatağı, buzul akması, lős, heyelan vb. belirgin arazi şekillerine sahip olası yüzeysel birikintiler.

Jeolojik haritalar, raporlar, yayınlar

- Jeolojik haritalar genellikle krono- ve lito-stratigrafik birimlerin dağılımını sunar; bu nedenle standart jeolojik haritaların mühendislik jeolojisi haritasının temelini oluşturmadan önce dikkatli bir şekilde yorumlanması gerekir.
- Litoloji. Bu birimler MJM'nin temel yapı taşını oluşturur. Oluşum ortamının değerlendirilmesi, haritalanmamış olası litolojik değişimlere dair öngörüler sunabilir. Litoloji bilgisi aynı zamanda süreksizliklerin türü, yönelimi ve aralığı ile hem jeolojik formasyonların hem de alt üyelerinin dokanak türü ve geometrisi hakkında bilgi sağlar.
- Stratigrafi (Yaş) –Jeolojik birimler ile bu birimleri değiştiren süreçler (örneğin diyajenez, tektonik deformasyon, ayrışma, sertleşme seviyelerinin (duricrust) gelişimi vb.) arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesine imkân tanır.
- Haritalanmış jeolojik yapılar, kıvrımlanma ve faylanma gibi unsurlardır, kaya kütlesi üzerindeki olası etkilerin değerlendirilmesini sağlar (örneğin, kıvrımlanma ile ilişkili eklem gelişimi, faylar ve bunların etkilediği ayrışma derinliği vb.).
- Kuvaterner çökeller. Bunların haritalanamayabileceğini veya yalnızca belirli bir kalınlığı aşıkalarında haritalanabileceğini unutmayın. Örneğin, Birleşik Krallık'ta 1 metreden daha az kalınlıktaki yüzeysel tortular genel olarak haritalanmaz. Haritalandıkları durumlarda da çoğunlukla oldukça sadeleştirilmiş olarak gösterilirler.
- Genellikle gözlemlenen, varsayılan, yorumlanan gibi belirsizlik dereceleriyle birlikte gösterilen jeolojik sınırlar.
- Antropojenik değişiklikler – Cevherleşme ile ilişkili çalışmalar, dolgu zemin, atık sahaları, kuyu ve galeriler gibi yapılar.
- Uygun ölçekteki, en güncel jeolojik haritaların kullanılması gerekse de eski haritalara başvurmak gerekebilir; çünkü eski haritalarda güncel haritalarda yer almayan terk edilmiş maden işletmeleri veya yapılar gibi önemli özellikler bulunabilir. Jeolojik paradigmalar (kabul görmüş düşünce/modeller) değiştikçe haritalarda gösterilen bilgiler de değişebilir; bu nedenle bu değişimlerin nedenlerini anlamak faydalı olabilir.

Hava fotoğrafları, uzaktan algılama görüntüleri

Hava fotoğrafları, hava kaynaklı çok bantlı (multispektral) tarayıcılar veya uydu görüntüleri ile yapılan haritalama, kavramsal fikirlerin geliştirilmesinde önemli katkılar sağlar. Belirli görüntülere erişim sınırlı olsa da Google Earth neredeyse tüm dünya için erişilebilir görsel veri sunar. Haritalama şunları içermeli ancak bunlarla sınırlı olmamalıdır:

- Jeomorfolojik ortam.
- Geçmiş ve mevcut jeomorfolojik süreçler (ve olası değişim hızları). Örneğin, kalıntı buzul çevresi süreçler ve günümüzdeki akarsu yatağı aşındırması.
- Belirli jeolojik yapılar ve genel jeolojik yapı.
- Regolit, litoloji ve kil mineralojisinin çok bantlı uydu görüntüleriyle yorumlanması
- Mostra ve bazı durumlarda, çok bantlı uydu görüntüleri kullanıldığında, yüzey litolojisinin ön (ilksel) yorumu.
- Antropojenik değişiklikler.

LiDAR

Bazı ülkelerde geniş kapsamlı kamuya açık LiDAR verileri mevcuttur, ancak birçok proje için sahaya özgü LiDAR uçuşları yapılır. Sayısal Arazi Modelleri (SAM) kullanılarak, aşağıdaki konularda bilgi edinmek üzere yorumlanabilen gölgeli rölyef görüntüleri üretilebilir:

- Jeomorfoloji – örneğin heyelanlar, terk edilmiş nehir kanalları vb.
- Mostra sınırları.
- Yüzey haritalaması.
- Büyük ölçekli jeolojik yapılar.
- Antropojenik faaliyetler ve/veya arkeolojik araştırmalar.

Mevcut zemin etüdü verileri

Birçok projede daha önce yapılmış araştırma verileri olacaktır. Bu verilerin yaşı, doğruluk derecesini etkileyebilir ve bu nedenle belirli bir belirsizlik barındırabilir. Bu sebeple, kavramsallaştırma aşamasından önce mevcut verilerin yorumlanması gerekebilir.

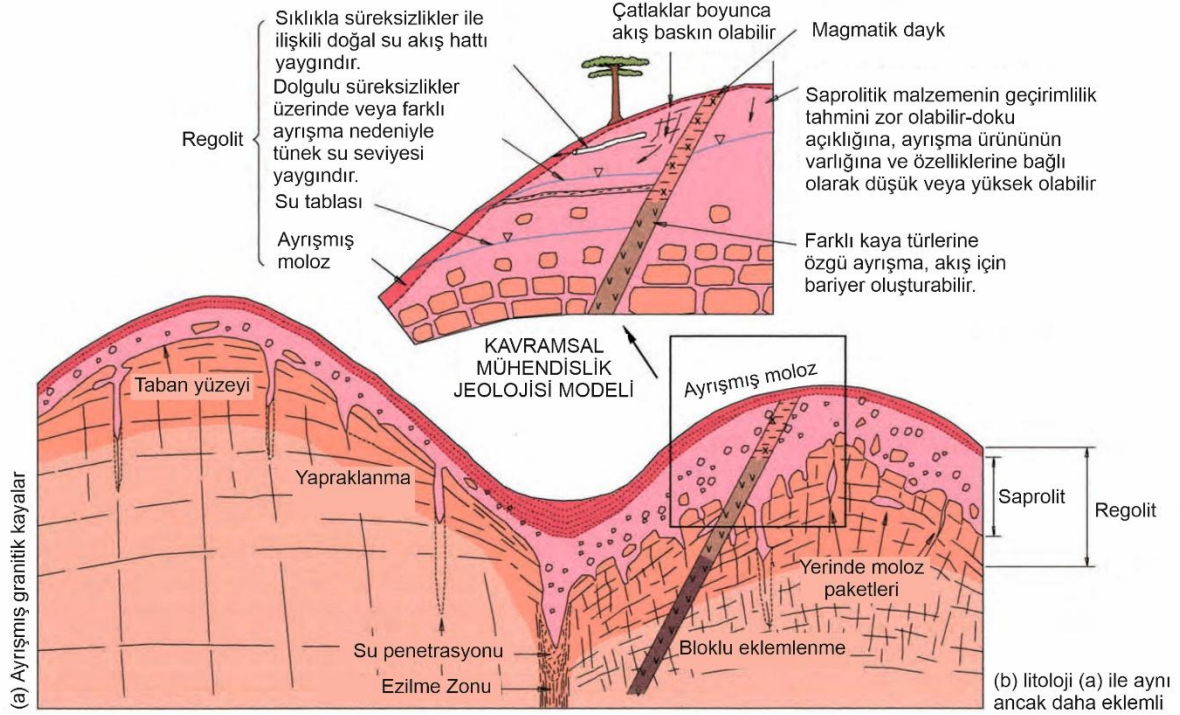
Tüm ilgili bilgilerin bir araya getirilmesi sırasında kavramsallaştırma süreci aşağıdaki başlıklar altında sistematik bir şekilde geliştirilmelidir:

2.2.3.3.1 Proje düzeni

Jeolojik ve jeomorfolojik koşulların küresel/bölgesel özetleri, tektonik ortam, geçmiş ve güncel iklim koşulları ve buna bağlı yeryüzünü şekillendiren süreçler, *yerinde* gerilme koşulları vb. unsurlar, kavramsallaştırma için genel bir çerçeve sağlar.

2.2.3.3.2 Stratigrafi – kaya/zemin tipleri ve ilişkileri

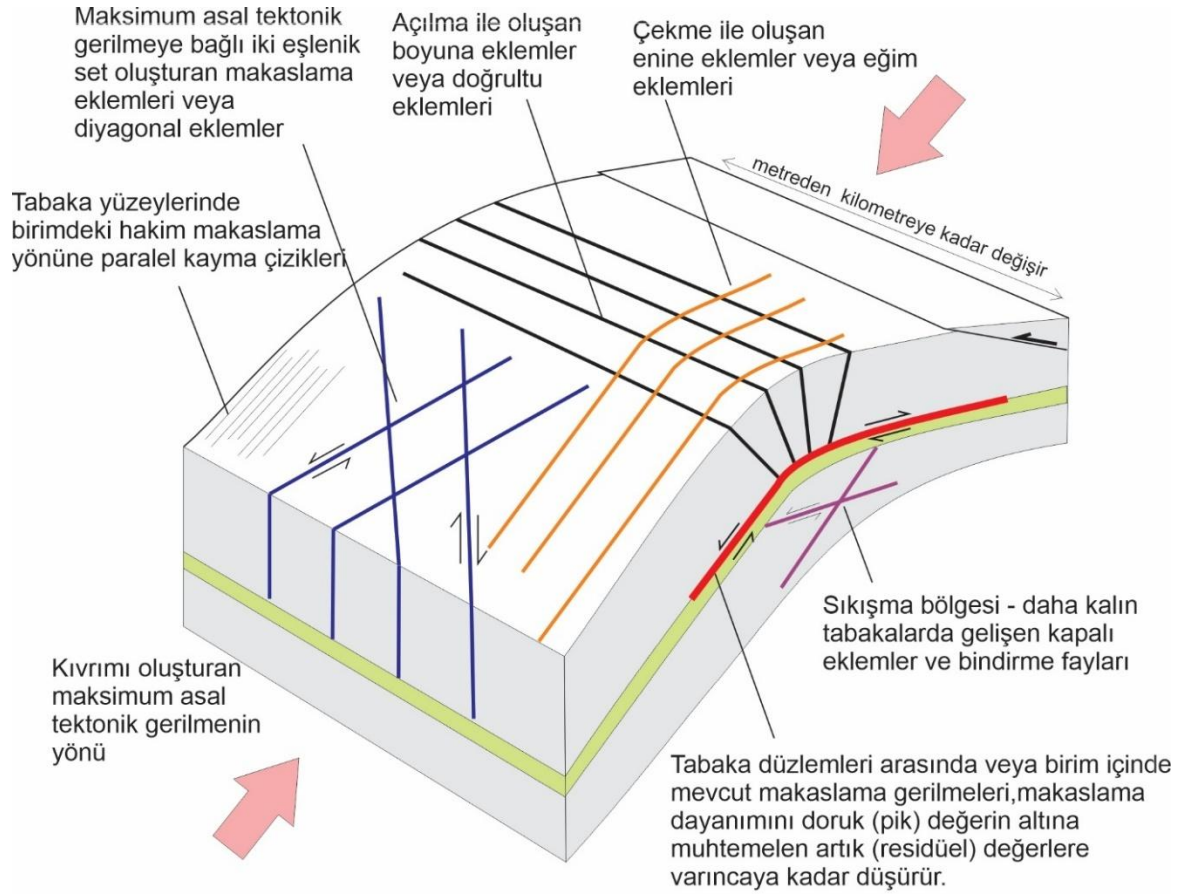
Mevcut zemin ve kaya türleri ve aralarındaki stratigrafik ilişkiler jeolojik haritalardan elde edilebilir ve genellikle haritada "kayaç ilişki diyagramı" olarak ifade edilir. Jeolojik haritalardan elde edilen bilgi, belirli jeolojik birimlerin ve özelliklerin varlığını, sınırlarının mahiyetini ve birimler arasındaki mekansal ilişkileri vb. öngören kavramsal bir modelin geliştirilmesini destekler; yani jeolojik harita ve buna eşlik eden herhangi bir tez veya rapor, *tüm jeolojik geçmişi* çıkarmak için kullanılabilir. Kavramsallaştırmanın bu kısmı, farklı kayaç türlerinin temel jeolojik bilgisine ve karakteristik özelliklerinin mühendislik açısından önemine dayanmaktadır. Jeolojik olarak birçok farklı kayaç türü bulunsun da mühendislik uygulamaları için çoğu tanımlayıcı standartta yer alan sadeleştirilmiş sınıflandırmalar genellikle yeterlidir. Başlangıçta bu tür değerlendirmeler, uzmanlık deneyimine ve özellikle genel modeller ile mühendislik özelliklerinin derlendiği ilgili literatür esas alınarak gerçekleştirilir. Farklı genel kavramsal modellerin görselleştirilmesi için bkz. Fookes *vd.* (2015) ve Fell *vd.* (2015). Örneğin, Şekil 2-7, derin kimyasal ayrışmaya uğramış granitik arazilerde karşılaşılabilecek koşulları göstermektedir.



Şekil 2-7 Tipik granit özellikleri. Fookes *vd.*, 2015'ten alınarak yeniden üretilmiştir. Mühendislik jeolojisinde jeomodeller – bir giriş. © Whittles Publishing 2015.

2.2.3.3.3 Jeolojik yapı

Jeolojik yapı, jeoloji haritasından ya da benzer jeolojik ortamlardaki bilgi ve deneyime dayanarak çıkarımlanabilir. Beklenen yapısal özellikler, yine en iyi şekilde ilgili genel kavramsal modellerin incelenmesiyle anlaşılabilir (örneğin bkz. Şekil 2-8).



Şekil 2-8 Açık kıvrımlanmayla ilişkili yapılar (Price & Cosgrove, 1990'a göre).

2.2.3.3.4 Yüzey ve yeraltı süreçleri

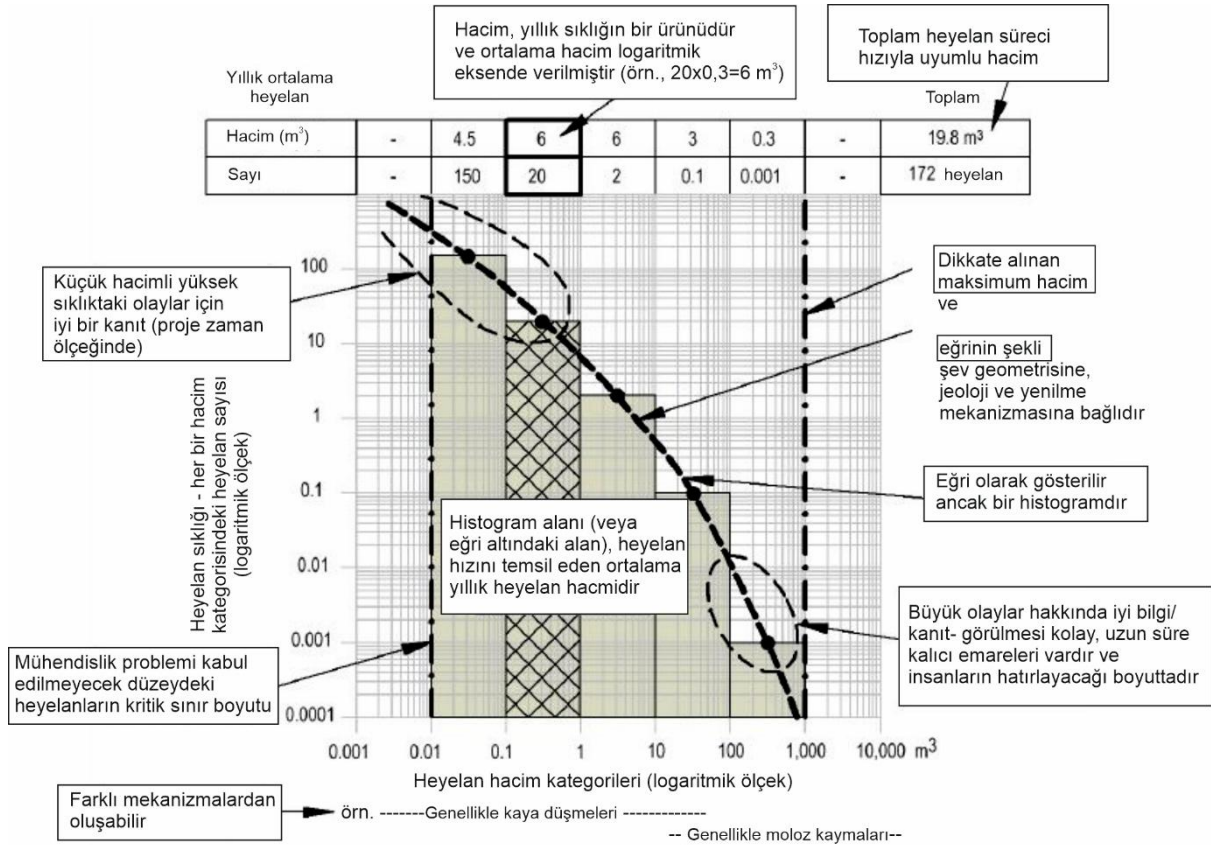
Yüzey ve yeraltı süreçleri, geçmişte hangi süreçlerin gerçekleşmiş olabileceğini ve hangi süreçlerin aktif olduğunu veya yeniden etkinleşebileceğini değerlendirmek için jeoloji ve jeomorfoloji bilgisi ve deneyimi gerektirir. Örneğin, vadi oluşumu nedeniyle gerilme boşalımı olması, yamaç duraylılığını, kaya kütlesi geçirgenliğini, yeraltısuyu kontrol mekanizmalarını ve tünellere su girişi gibi unsurları etkileyebilir.

Genel olarak bu değerlendirme; sürecin sınıflandırılmasını ve ilgili sürecin hızına dair bilgilerin geliştirilmesini içerir. Şekil 2-9, proje sahasını etkileyen heyelanların tehlike değerlendirmesine destek sağlayacak biçimde nasıl sunulabileceğine dair bilgi çerçevesi örneğini göstermektedir.

Palimpsest kavramı (farklı çağlara ait yazıların üst üste yazılması) sahanın herhangi bir araştırmasında dikkate alınmalıdır. Arazi şekillerinin çoğu, çeşitli çevresel koşullar altında oluşmuş kalıntı ve aktif yeryüzü bileşenleri ve süreçlerinin bir kombinasyonudur.

Sonuç olarak, arazi yapısı aşağıdakilerin bir kombinasyonunu içerebilir:

- Güncel süreçlerden etkilenmeyen kalıntı arazi şekilleri.
- Güncel süreçlerden etkilenen veya koşullardaki değişiklikler nedeniyle yeniden aktif hale gelebilen kalıntı arazi şekilleri.
- Aktif arazi şekilleri.



Şekil 2-9 Genel bir heyelan büyüklük-sıklık modeli (Moon vd., 2005). Yazarların izniyle yeniden üretilmiştir.

Kavramsal model, günümüz yeryüzünün evrimini açıklamalı ve arazinin projeden nasıl etkilenebileceğini veya projeyi nasıl etkileyebileceğini öngörmelidir. Olası jeomorfolojik süreçleri anlamak için, alanı karakterize eden *morfojenetik arazi şekillerinin* genel bir kavramsal modelini geliştirmek faydalıdır- bunlar, belirli bir zaman dilimindeki belirgin iklim tiplerinden kaynaklanan, tanımlanabilir arazi şekilleri topluluklarıdır. Genel kavramsal modeller, sahaya özgü kavramsal modellerin oluşturulmasına yardımcı olabilir. Ayrıca, bu alanlarda karşılaşılabilecek jeolojik özelliklerin ve jeotehlike türlerinin ne olabileceği hakkında bilgi verir. Farklı genel kavramsal arazi şekli modellerinin görselleştirmeleri için bkz. Fookes vd. (2015).

2.2.3.3.5 İlk mühendislik karakterizasyonu

Mevcut bilgi ve deneyime dayanarak, kavramsal modelin farklı bileşenlerine ait olası mühendislik özellikleri belgelenebilir. Çok sayıda yayın, farklı mühendislik jeolojisi malzemelerinin tipik mühendislik özelliklerini özetlemektedir. Örneğin, farklı ayrışma derecelerine sahip granit ve gnaysların kaya kütlesi özellikleri Dearman vd. (1978) tarafından özetlenmiştir. Geniş kapsamlı bilgi ve deneyim varsa, örneğin GSI yaklaşımı (Hoek ve Brown 2019) gibi çeşitli yöntemler kullanılarak kaya kütlesi tanımlarından dayanım ve sıklık gibi özelliklerin ilk tahminlerini yapmak mümkün olabilir. Ancak, böyle bir yaklaşımla ortaya çıkabilecek belirsizlikler tam olarak belgelenebilir.

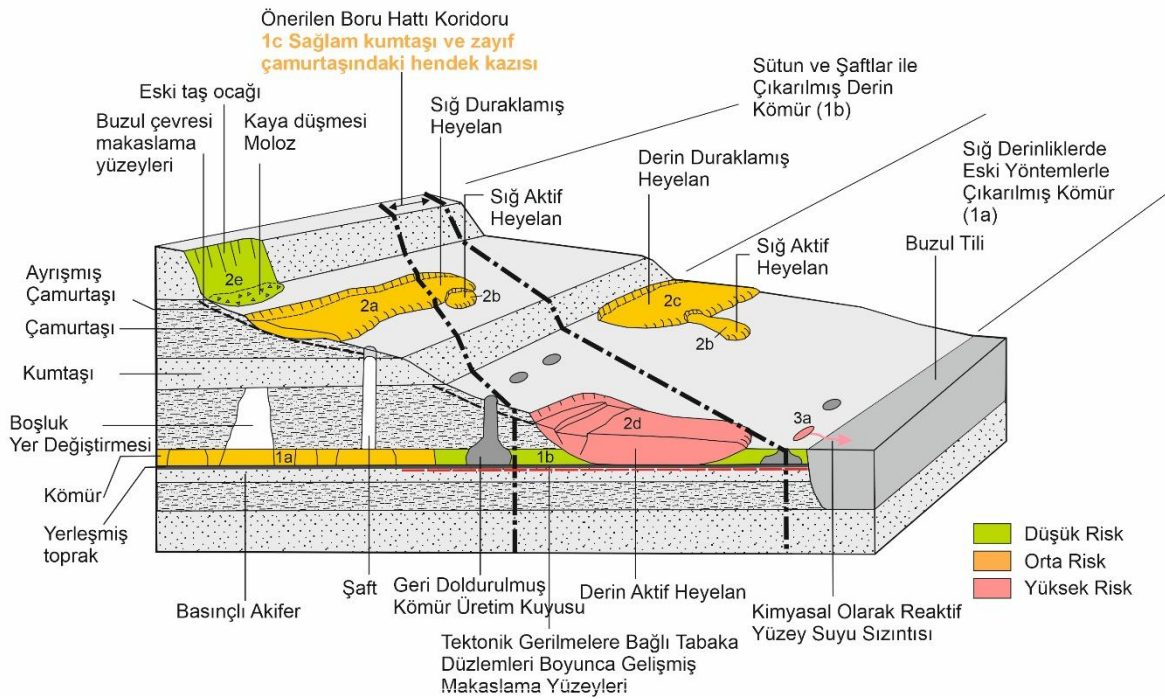
Başlangıçtaki risk kayıtlarına ek olarak, kavramsal model, projeler için öngörülen jeolojik koşulları sözleşme altında tanımlayan ilk 'Referans Koşulları'nı oluşturmak için kullanılabilir (Baynes vd., 2005).

2.2.3.3.6 Başlangıç Jeolojik Model

Projeye bağlı olarak, ilk Jeolojik Model önemli miktarda mevcut gözlemsel veriyi içerebilir veya neredeyse tamamen kavramsallaştırmaya dayalı olabilir; dolayısıyla model içindeki belirsizlik düzeyi önemli ölçüde değişkenlik gösterebilir. Ancak, Jeolojik Model geliştikçe, model belirsizliğini azaltmayı amaçlayan arazi araştırmalarının tasarımı için mantıksal bir çerçeve sağlar.

2.2.3.3.7 Kavramsallaştırma örneği

Bir kavramsal modelin görselleştirilmesine ilişkin bir örnek Şekil 2-10'da verilmiştir.



Şekil 2-10 Madencilik ve heyelanlardan etkilenen duraysız bir yerden geçen bir boru hattı için MJM'nin kavramsal bileşeninin masa başı çalışmasının ardından görselleştirilmesi (Baynes vd., 2021).

2.2.3.4 Araştırmalar yoluyla proje alanının gözlemler elde edin

Jeolojik 'veri' kayıtları, ulusal standartlara veya uluslararası yönergelere/kılavuzlara uygun olarak loglama yapılarak üretilir. Ancak, söz konusu loglar asgari standartları yansıtıyorsa, bu durum gözlemsel verilerin kısıtlanmasına ve kaybına neden olabilir. Kavramsal modelin/erken gözlemsel modelin tasarımı büyük olasılıkla hangi temel faktörlerin belirleyici olacağını göstermesi nedeniyle, veri toplamanın bu faktörlere odaklanabilmesi için loglama sistemlerinde esneklik sağlanması gereklidir.

Sondaj, deney çukuru, yüzlek vb. loglamalarında yapılan tüm malzeme tanımlarına, tortul ortamın jeolojik yorumu ve/veya stratigrafik yaş bilgisi eklenmelidir (Avustralya Standardı AS1726 2017 gereğince); çünkü bu bilgi, jeolojik malzemelerin ne zaman ve nasıl oluştuğunu gösterir ve bu da mühendislik özelliklerini etkiler. Ancak, bu yorumlama, uzmanın MJM hakkında bilgi sahibi olmasını gerektirir. Yanlış yorumlama olasılığı bulunduğundan, yorumun güvenilirliğine dair bir açıklama verilmesi gereklidir.

Gözlemciler, gözlemlediklerini yorumlamalı ve gelişen gözlemleri ile yorumlarına dayanarak mevcut koşulların başka nerelerde veya hangi durumlarda gözlemlenmesi ve ölçülmesi gerektiğine karar vermelidir. Deneyimli kişilerin bu bağlamda avantajlı olduğu açıktır. Gözlemciye ilave gözlemler yapmadan önce MJM verilirse, doğru yorum yapma olasılığı önemli ölçüde artar. Ayrıca, aykırı değerler ve anomaliler bu şekilde daha kolay fark edilir, belgelenir ve değerlendirilir.

Saha yorumlarının, ek veriler veya deneyimle değişebileceğini ve MJM geliştikçe daha önceki loglamaların yeniden değerlendirilmesi gerekebileceğini unutmayın. Eğer yorumlarda değişiklik yapılırsa, bu değişiklikler de belgelenmelidir.

Sayısal veri girişine geçilmesine rağmen, bazı veriler bu sisteme kolayca entegre edilememektedir. Örneğin, karmaşık jeolojik ortamlarda yapılan loglamalar ve bu logların gösterdiği karmaşık ilişkiler, sayısal veri girişine uygun olmayabilir. Bu durumlarda, kâğıt ve kalem kullanılarak yapılan çizimleri içeren orijinal loglar da verilmelidir.

Detaylı haritalama, kontrol noktalarında yapılan basit şerit metre ölçümlerinden, gözlemlerin yüksek çözünürlüklü SYM (mümkünse) veya ortofotolara yerleştirilmesine kadar çeşitli teknikler kullanılarak gerçekleştirilebilir.

2.2.3.5 Kavramsal modeller ile gözlemsel modelleri MJM'de birleştirmek

Yorumlama, geleneksel olarak kâğıt üzerine çizilmiş haritalar, kesitler, çizimler ve metinler aracılığıyla gerçekleştirilmiş olsa da günümüzde giderek artan bir şekilde sayısal model ortamlarında yürütülmektedir. Bu süreç; mühendislik jeolojisi haritaları, jeomorfolojik haritalar, LiDAR verileri, topografya, saha haritalamaları ve gözlemleri gibi çeşitli verilerin bir araya getirilerek yer koşullarını yorumlamak amacıyla kullanıldığı bir 3B sayısal modelin geliştirilmesi sırasında yapılan "yüzey yorumlamasını" içerir. Ancak bu tür yüzey yorumlamalarının sahada mutlaka doğrulanması gerekmektedir.

Saha tabanlı mühendislik jeolojisi ve jeomorfolojik haritalama ise projelerde genellikle rutin olarak uygulanmamaktadır. Oysa bu teknik hem sahaya dayalı gözlem hem de eş zamanlı kavramsal yorumlama yapılmasını gerektirir ve bu şekilde Mühendislik Jeolojisi Modeli'nin (MJM) harita biçimindeki tipik 2B görselini oluşturur.

2.2.3.6 Mühendislik jeolojisi birimlerinin tanımlanması ve karakterize edilmesi

Açıklama yok.

2.2.3.6.1 Jeoteknik karmaşıklık

Açıklama yok.

2.2.3.7 Mühendislik karakterizasyonu

Açıklama yok.

2.2.3.7.1 Bölgeleştirme

Açıklama yok.

2.2.3.8 MJM'deki belirsizlikler, boşluklar ve tutarsızlıklar

Açıklama yok.

2.2.4 MJM ve Eurocode

Eurocode 7'nin en güncel versiyonu, Bölüm 2, bir projenin jeoteknik bileşenlerinin araştırılması ve tasarımı için bir yaklaşım tanımlamaktadır. Norbury (2020), Eurocode 7'de iki farklı model türü olduğunu belirtmiştir.

- (1) Jeoloji ve deney sonuçlarının sunumunu ve değerlendirmesini içeren Yer Modeli (EN 1997-2:2004).
- (2) Yapının tasarımını ve dolayısıyla jeoteknik tasarım parametrelerinin seçimini kapsayan Jeoteknik Model (EN 1997-1:2004).

Terminoloji farklı olsa da Eurocode yaklaşımı, inşaat mühendisliği projeleri için genel MJM yaklaşımıyla uyumludur. Ancak, Eurocode yaklaşımı, genellikle inşaat mühendisliği tasarımının dışında sıklıkla karşılaşılan jeoteknik mühendisliği karar süreçlerinin daha geniş yelpazesi için uygun değildir. Örneğin açık deniz jeotehlike çalışmaları, taş ocağı kaynak değerlendirmesi, Jeoteknik Temel Raporlarının hazırlanması vb. durumlarda, kapsamlı MJM yaklaşımı daha etkilidir.

[Bakınız Bölüm 1.2 MJM GELİŞTİRME SÜRECİ](#)

2.3 MJM'NİN OLUŞTURULMASI VE SUNUMU

2.3.1 Giriş

Açıklama yok.

2.3.2 MJM bileşenlerinin hazırlanmasına ilişkin özet

Açıklama yok.

2.3.3 Proje tedarik sürecindeki etkiler

Açıklama yok.

2.3.4 MJM'nin raporlanması

MJM, öncelikle proje raporları vasıtasıyla belgelenir. Büyük projelerin tedarikiyle ilgili olarak dava süreçlerinin yaygın olduğu ülkelerde, geleneksel olarak ve sıklıkla sözleşmesel bir yükümlülük olarak, saha araştırmalarının ardından iki ana rapor türü üretilir- Veri Raporu ve Yorumsal Rapor.

'Veri Raporları' genellikle 'Güvenilir Veriler' olarak kabul edilirken, 'Yorumsal Raporlar' genellikle sınırlı bir yorumsal içeriğe sahip olabilir, genellikle 'Sadece Bilgilendirme Amaçlıdır' ibaresi taşır ve sözleşmesel olarak daha az geçerliliğe sahiptir. Bu gibi durumlarda, etkili bir MJM bilgi çerçevesi sunulmayabilir ve proje yaşam döngüsünde tam olarak kullanılmayabilir.

2.3.4.1 Veri Raporu

Bazı durumlarda işverenler, sondaj kuyusu veya kazı çukuru logları, laboratuvar deney sonuçları vb. gibi yalnızca “Veri” niteliğindeki bilgileri yayımlamayı tercih eder. Bunun gerekçesi, herhangi bir “yorum” sunulmasının jeoteknik risk açısından sorumluluğu artıracak yönündeki inançtır. Bu uygulamanın yaygın olduğu kabul edilmekle birlikte, yorumların sonraki tasarımcılardan veya yüklenicilerden gizlenmesi, sahada karşılaşılabilecek yer koşullarının makul biçimde öngörülmesini engelleyecektir. Bu da ihale bedellerinin eksik ve yanlış belirlenmesine neden olur.

2.3.4.2 Yorumsal Rapor

Yorumsal raporlar, MJM'nin kavramsal bileşenlerini nadiren belgelendirir ve genellikle bunun nasıl türetildiğine ve ilişkili herhangi bir belirsizlik olup olmadığına dair hiçbir açıklama olmaksızın tek bir 'yer modeli' sunar. Bu sorunlar, araştırmalar sırasında sahada gözlemler yapan yükleniciler tarafından genellikle veri raporlamasından ve yorumsal bileşenden sorumlu olan danışmanlar tarafından daha da karmaşık hale getirilir. Bu tür görev ayrımları, yerin hatalı ve yanıltıcı biçimde yorumlanmasına neden olabilir.

2.3.4.3 Jeoteknik Temel Raporları

Yorumsal Raporlar günümüzde giderek artan şekilde Jeoteknik Temel Raporlar (JTR) oluşturmak için kullanılmakta ve böylece yer koşullarına dair *sözleşmeye dayalı bir yorum sağlayarak risk paylaşımını daha net biçimde tanımlamaktadır* (Davis 2017). Uluslararası Danışman Mühendisler Federasyonu (FIDIC), Jeoteknik Temel Raporların kullanımı için özel olarak tasarlanmış bir sözleşme kitabı (Emerald Book) yayımlamıştır (FIDIC 2019).

JTR, işveren ile yüklenici arasındaki risk sınırlarını belirleyen ve yüklenicinin inşaat süresince karşılaşabileceği mühendislik jeolojisi veya jeoteknik koşulları, aynı zamanda teklif aşamasında dikkate alınmış olduğu varsayılan koşulları tanımlayan ‘temel ifadeleri’ içerir. JTR’ler ayrıca mevcut verilerden yer koşullarının makul bir değerlendirmesini sunabilir veya işverenin risk profiline ve risk algısına bağlı olarak daha iyi veya daha kötü koşullara göre adapte edilebilir. Sahada karşılaşılan gerçek yer koşullarındaki farklılıklar ve bunların sözleşmeler üzerindeki etkileri, genellikle inşaat çalışmaları sırasında bir 'Bağımsız Üçüncü Taraf' aracılığıyla tahkim edilir. JTR, sözleşme müzakereleri sırasında aşamalı olarak geliştirilen birden fazla rapordan oluşabilir.

En basit haliyle JTR, tüm teklif veren firmalar tarafından, ihale dökümanları ve şartnamelerinde belirtilen işlerin fiyatlandırılmasının yanı sıra jeoteknik riskin fiyatlandırılması için ortak bir referans olarak kullanılır. Sözleşme imzalandığında, yüklenicinin JTR'deki temel ifadelerde belirtilen yer koşullarını dikkate alarak teklif verdiği varsayılır. Bu temel ifadeler, hangi koşulların 'öngörüldüğünü' belirler ve inşaat sırasında karşılaşılan yer koşullarına ilişkin hangi durumların “öngörülme” olarak değerlendirilebileceğini sözleşmesel açıdan belirlemek için kullanılır. Sözleşme imzalandıktan sonra, JTR, kapsanan konular için herhangi bir jeolojik ortamdan kaynaklı tazminat talebinin geçerliliğini değerlendirmek için kullanılır. MJM bilgi çerçevesi, sözleşme maddeleriyle ilişkili JTR bileşenlerinden 'sayısal referanslar', 'karakteristik değerler' ve 'jeolojik ortam referans koşulları'nın geliştirilmesini destekler.

2.3.4.4 Mühendislik jeolojisi haritaları ve kesitleri

Mühendislik jeolojisi haritaları ve kesitleri, MJM bilgi çerçevesinin temel bileşenleridir. Tüm haritalar ve kesitlerde ölçek, lejant ve bir kuzey oku bulunmalı ve Şekil 2-11'deki gibi sembol kurallarını kullanarak gözlemler ve yorumlar arasındaki ayrımı ortaya koymalıdır. Sayısal tabanlı haritalar geliştirirken, gözlemlenen, öngörülen ve yorumlanan sınırlar benzer şekilde ayırt edilerek gösterilmelidir.

—————	Konumu bilinen, gözlemsel dokanak
-----	Konumu yaklaşık olarak bilinen, gözlemsel dokanak
- ? - ? - ? - ? - ? - ? - ? - ? - ? - ? - ? - ? - ? -	Muhtemel (tahmin edilen) dokanak

Şekil 2-11 Jeolojik sınır çizimi kuralları.

Mühendislik jeolojisi bilgisinin büyük bir kısmı bilgisayar tekniklerinin ve sayısal jeolojik görselleştirmenin geliştirilmesinden önceye dayanır. Bunlar geleneksel 'statik' ürünlerdir ve çizimler, diyagramlar ve grafikler, fotoğraflar, haritalar, kesitler ve fiziksel modeller içerir. Ancak, birçok projede bu geleneksel teknikler halen 3B sayısal modelin kavramsallaştırılmasına ve 'doğrulanmasına' katkıda bulunmakta ve özellikle daha küçük ölçekli projelerde, MJM'nin temel çıktıları olabilmektedir.

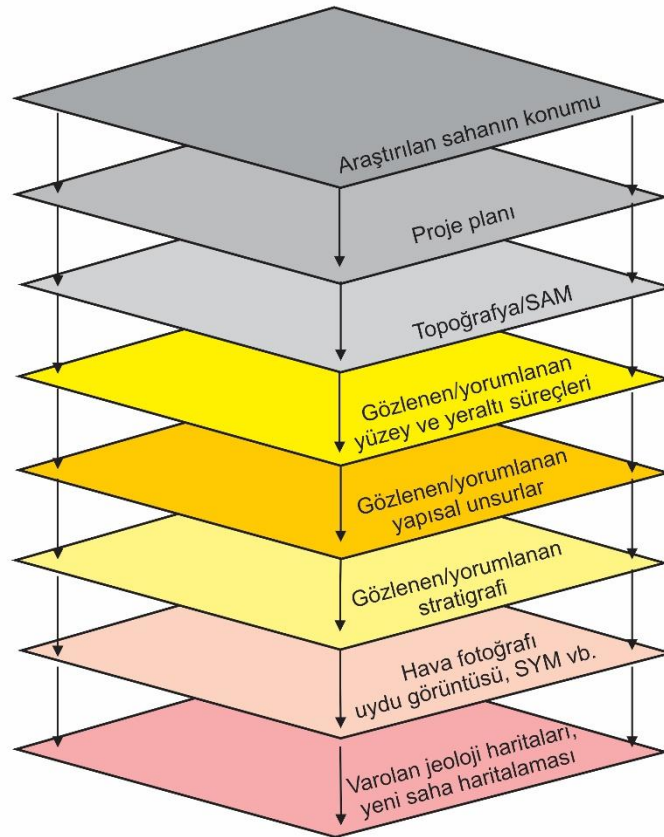
Çoğu büyük projede, söz konusu olan büyük miktardaki veri ve bu verilerin elektronik olarak elde edilmesine yönelik modern yöntemler, verilerin bilgisayarlarla işlenmesinin hem verimli hem de verileri bir araya getirmenin en pratik yolu olacağı anlamına gelir.

Çoklu sensörlü uzaktan algılama (LiDAR, fotogrametri, termal, hiperspektral) sondaj kuyu içi ölçüm araçları ve izleme yöntemleri (örneğin, RADAR, InSAR, MS/AE) kullanılarak yapılan saha araştırmalarında elde edilen 'büyük verileri' yorumlamak/işlemek için 'makine öğreniminin' giderek daha önemli/gerekli hale gelmesi mümkündür. Ancak, bu olasılık, 'makine öğreniminin' jeolojik olarak makul bir şekilde kavramsallaştırma ve yorumlama yapabilme yeteneği konusunda bazı endişeleri de beraberinde getirmektedir.

2.3.4.4.1 2B haritalama verileri

Jeolojik verilerin 2B görselleştirilmesi genellikle farklı coğrafi veri türlerini bir araya getirmek için ideal bir platform olan CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) içinde işlenmektedir ve veriler CBS ortamında ayrı katmanlarda sunulur. CAD (bilgisayar destekli çizim) sistemleri kullanılarak basit jeolojik haritalar ve kesitler üretmenin mümkün olduğunu ancak bunların daha çok mühendislik tasarımına uygun olduğunu ve genellikle iyi jeolojik çizimler üretmek için gerekli işlevselliğe sahip olmadığını unutmamın.

CBS katmanlarının yapısı, farklı veri kaynaklarını yansıtmalı ve mümkünse gözlemlerden oluşan katmanlar, yorum içeren katmanlardan ayrılmalıdır. MJM içindeki tipik CBS katmanları Şekil 2-12'de gösterilmiştir.



Şekil 2-12 MJM için CBS yapısı.

2.3.4.4.2 2B kesitler

Haritalara ek olarak, MJM içindeki verilerin yorumlanmasına dayalı olarak 2B kesitlerin geliştirilmesi gereklidir. Bu kesitler, ileri analiz, tasarım, inşaat veya görselleştirme araçları olarak kullanılmalıdır. Enine ve boyuna kesitler elle, 2B veya 3B yazılım programları kullanılarak çizilebilir. 2B yazılımda kesitler kullanıcı tarafından sayısal olarak çizilebilirken, 3B sayısal modeller üzerinden, 2B kesitler kullanıcı tarafından belirlenen bir kesit doğrultusu boyunca otomatik olarak oluşturulabilir. Kesitler nasıl oluşturulursa oluşturulsun, aynı temel prensipleri takip etmelidirler:

- Kesitler, proje bileşeni, bu bileşenin yere uyguladığı yükler veya değişimleri ile mühendislik jeolojisi birimlerinin yorumunu destekleyen veri/bilgi arasındaki ilişkiyi en iyi şekilde gösterebilecek hatlardan alınmalıdır. Kesit hatları, belirli yükleme koşullarının etkilerini araştırmak amacıyla tasarımcılar tarafından seçilebilir.
- Veriler bir kesite yansıtıldığında, yapılan varsayımlar ve kullanılan projeksiyon yöntemi açıkça belirtilmelidir.
- Aksi gerekli olmadıkça (örneğin, bir güzergah boyunca veya yer değiştirme yönü boyunca çizilecek uzun bir kesit), kesitler konturlara veya ilgili morfolojik unsurlara dik olarak çizilmelidir.
- Kesitler, kritik proje bileşenlerinin eksen hattı boyunca çizilmeli ve bu hatta en fazla kontrol (yani veri) sağlanmalıdır. Kesitin dayandığı veriler kesit üzerinde açıkça gösterilmelidir. En iyi veri kontrolü eksen hattı üzerinde değilse, kesit uygun başka bir konumda çizilmelidir; bu durum ek kesit hatlarının oluşturulmasını gerektirebilir.
- Bir kesitin düşey ölçeği (görselleştirmeye engel olmadığı sürece) yatay ölçekle aynı olmalıdır (yani düşey abartı olmamalıdır). Abartılı bir ölçek kullanıldığında, abartısız bir kesit de ayrıca hazırlanmalıdır.
- Mühendislik jeolojisi birimlerinin sembolleri, modelde ve/veya haritada kullanılan sembollerle uyumlu olmalıdır.

3B sayısal modeller genellikle muhtemel dokanıkları gösteremez veya yüzeylerde soru işaretleri içeremez, bu nedenle sınırların nerede çıkarımsal (yorumsal) veya yaklaşık olduğunu belirlemek genellikle zordur. Bu tür koşulları belirlemeye yardımcı olan bir yöntem, yukarıda belirtilen çizim kurallarını içeren 2B panel kesitleri ve haritaları, 3B model alanına eklemektir.

2.3.4.4.3 Mekansal kapsam ve ölçek hususları

MJM bilgi çerçevesini belgelendiren haritaların ve planların mekansal kapsamı, projeden etkilenebilecek jeolojik ortamın (örneğin, bir inşaat temel yüküne tepki verecek alan) yanı sıra projeyi etkileyebilecek jeolojik ortamın (örneğin, projeyi etkileyebilecek, proje alanı dışından kaynaklanabilecek bir heyelan alanı) bir fonksiyonu olmalıdır. Sonuç olarak, haritalar bölgesel ölçekte olabileceği gibi, tekil bir kaya birimi ya da inşaat temel planı ölçeğinde de olabilir.

Haritaların ve planların sunum ölçeği, verilerin toplandığı ölçekle uyumlu olmalıdır. Geleneksel kesitler ve haritalar hazırlanıyorsa, herhangi bir çizimin ayrıntı düzeyi, tam boyutta görüntülendiğinde çizimin ölçeğinde fark edilebilecek detaylarla sınırlı olmalıdır. 3B

sayısal modellerde ölçek dinamik olabilir, bu nedenle sunulacak ayrıntı düzeyine karar verilirken, verileri sunmak için seçilen ölçeğin etkileri dikkate alınmalıdır.

Modelin oluşturulması için kullanılan veri kümeleri daha yüksek çözünürlüklü ölçeklerde sunulduğunda dikkatli olunmalı ve sınırlamalar belgelenmelidir. Örneğin, 1:100.000 ölçekli bir haritadaki sınırların 1:5.000 ölçekli bir mühendislik jeolojisi planına aktarılması, özellikle herhangi bir saha doğrulaması ve düzeltilmesi yapılmamışsa, güvenilir olmayan modeller ortaya çıkarabilir.

Gerekli çıktıların ölçeğinin projenin çeşitli aşamalarında değişebileceğini ancak girdi verilerinin ölçeğinin aynı kalacağını ve MJM'nin geliştirilme şeklini kısıtlayabileceğini unutmayın.

2.3.4.4.4 Stereografik gösterim

Bu teknik, süreksizlik/jeolojik yapı desenlerini ve bunların mekanda nasıl/nerede değiştiğini değerlendirmeye yardımcı olmak için kullanılabilir. Bu nedenle, yapısal verileri (örneğin, eklemler, faylar, klivaj) değerlendirmek ve sunmak için önemli bir araç olup süreksizliklerin geometrisinin önemli olduğu herhangi bir MJM için esastır. Bu, özellikle kaya mühendisliği için önemlidir ancak süreksizlik içeren mühendislik kütlelerini içeren projeler için de geçerlidir. Unutulmamalıdır ki stereografik veriler, mühendislik jeolojisi biriminin, zonunun veya bölgesinin bir kısmına ait süreksizlik setlerinin geometrisinin bir temsili olup, bu süreksizliklerin gerçek geometrisini ya da mekansal koordinatlarını yansıtmaz. Gerçek geometri en iyi şekilde süreksizlik konturları kullanılarak temsil edilebilir.

2.3.5 3B sayısal modelin oluşturulması ve görselleştirilmesi

3B sayısal modeller, daha önce 'kalem ve kağıt' yaklaşımıyla mümkün olmayan bir şekilde yeraltı koşullarının anlaşılmasını ve sunulmasını sağlar. Büyük veri setleri için, 3B sayısal modeller verilerin derinlemesine doğrulanmasına ve yorumlanmasına olanak sağlar ve MJM çıktılarının diğer disiplinlerle daha entegre bir şekilde kullanılmasını destekler. 3B sayısal modelleme yazılımları, çeşitli gözlemlerin (sondaclar, CPT, LiDAR, jeofizik veriler, yeraltısuyu seviyeleri, haritalanmış sınırlar vb.) mühendislik jeolojisi birimlerinin sınırlarının yüzeyler olarak yorumlanması ve görselleştirilmesini tek bir sayısal modelleme ortamında mümkün kılar. Bu yüzeylerden, 3B mekanda mühendislik jeolojisi birimlerini yansıtan hacimler hesaplanabilir.

Ancak, modelin ve sayısal yöntemlerin sınırlamaları, özellikle de bu iki bileşende kullanılan varsayımlar anlaşılabilir ve sunulmazsa, 3B sayısal modelin geliştirilmesi riskler barındırır. 3B sayısal modeller, gerçekte olduğundan çok daha büyük bir görünür doğruluk ve kesinlikle sunulabilir ve bu belirsizliğin açıkça belirtilmesi önemlidir. 3B sayısal model, bir bilgi çerçevesi sağlamadığı için tek başına bir MJM değildir. 3B sayısal modellerin geliştirilmesi, MJM'nin diğer bileşenlerinin geliştirilmesine paralel olarak, yeterli nitelik ve bilgiye sahip mühendislik jeologları tarafından gerçekleştirilmeli veya denetlenip doğrulanmalıdır. Aksi takdirde, yanlış, kusurlu ve jeolojik olarak mantıksız (yani güvenilirmez) modeller oluşturma riski doğar.

Turner vd. (2021) tarafından sayısal jeolojik modelleme üzerine kapsamlı bir inceleme sunulmuştur.

2.3.5.1 Modelleme yazılımı

2.3.5.1.1 Uygun yazılımın seçimi

Yazılım paketi seçiminde aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır:

- Modelin amacı- yazılımın hem mühendislik yapılarının hem de mühendislik jeolojisi özelliklerinin görselleştirilmesine izin vermesi gerekebilir.
- Proje tasarım aşaması – model geliştirmenin farklı aşamaları farklı araçlar/detay düzeyleri gerektirebilir.
- Muhtemel model büyüklüğü ve karmaşıklığı – jeolojik ortam basit katmanlı bir stratigrafi mi yoksa karmaşık kıvrımlı/faylı bir sistem mi?
- Veri setlerinin büyüklüğü- otomatik/komut dosyasıyla yazılmış araçlar, küçük veri setleri için uygun olan, zaman alıcı manuel yorumlama ve veri işlemeye kıyasla büyük veri setleri için uygun olabilir.
- Modelleme esnekliği- verilerin ve yüzeylerin manuel olarak değiştirilmesi ve kontrol edilmesi, modelleyicinin mümkün olduğunca jeolojik olarak geçerli ve gerçekçi özellikler oluşturmaya olanak tanır.
- Sayısal model güncelleme gereksinimleri – model sık sık güncelleme gerektirecek mi? Eğer öyleyse, yazılım yeniden düzenleme/yeniden yorumlama gereksinimini azaltacak araçlara sahip mi?
- Mekansal belirsizlik – yazılım, veri setleri ve genel modeldeki değişkenlik ve belirsizliğin istatistiksel ve/veya olasılıksal analizinde kullanılabilir mi?
- İşlevsellik ve kullanım kolaylığı – hangi analiz yöntemleri mevcuttur? Kullanıcı arayüzü nasıldır? Gerekli kullanıcı yetkinlikleri nelerdir? İşletim karmaşıklığı nedir? Mevcut yazılım modelleriyle uyumlu mudur?
- Yazılım, analizlere bilgi sağlamak, diğer disiplinlerle şeffaf entegrasyona yardımcı olmak ve mühendislik kararlarında iletişimi kolaylaştıran hem 2B hem de 3B çıktılar üretebilir mi?
- Yazılım paketi, kurum içindeki mevcut yetkinliklerle uyumlu mu? 3B sayısal modeli kim geliştirecek, kontrol edecek ve gözden geçirecek? Yazılım ve işlevselliğini kavrayan hem proje türü hem de yer koşullarıyla ilgili mühendislik jeolojisi bilgisine ve deneyimine sahipler mi?
- Özelleştirilmiş 3B modeller, belirli bir analitik sonuç düşünülerek geliştirilebilir. Bu tür modeller, yalnızca sınırlı sayıda analitik yöntemle ait çıktılar sağlamakla sınırlı olması nedeniyle özgün modelleme teknikleri gerektirebilir.
- Sayısal modelleri paylaşma gereksinimi olacak mı - kim düzenleyebilir ve kim görüntüleyebilir? Bu nasıl kontrol edilir? Başka hangi modellerle arayüz oluşturması gerekecek?

2.3.5.1.2 CAD ile modelleme

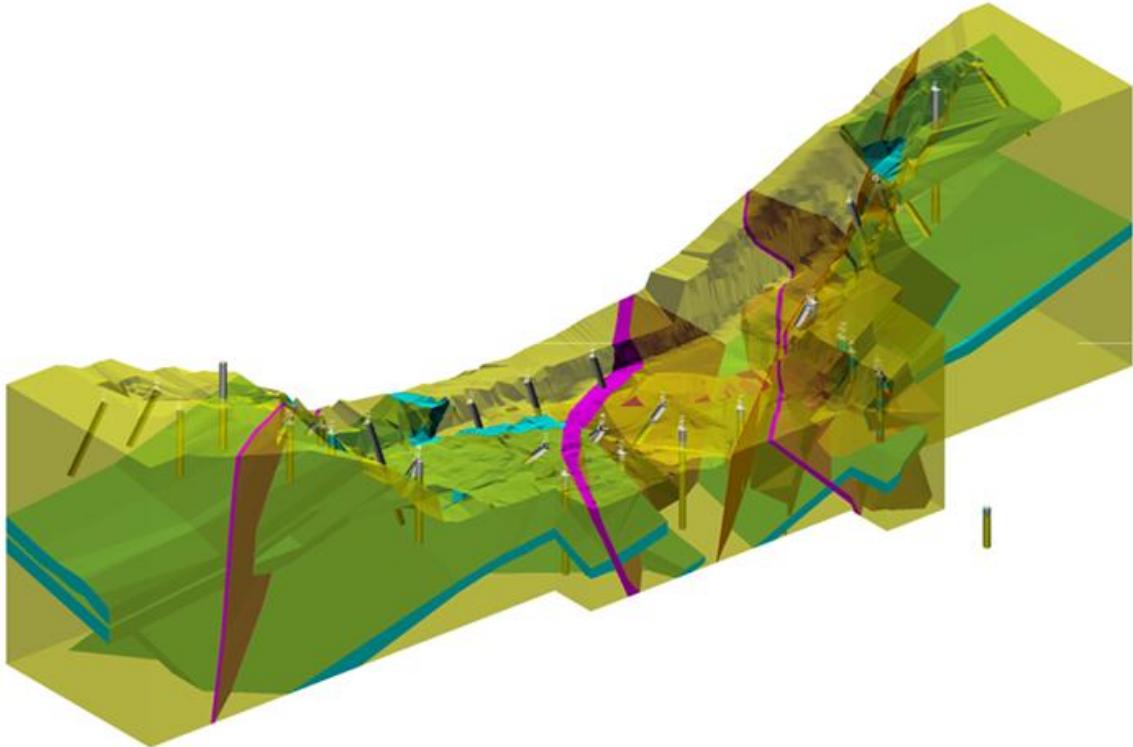
Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) yöntemleri, mühendislik jeolojisi koşullarının 3B görselleştirmelerinde kullanılabilir. Ancak CAD sistemlerinin topoloji yansıtma özelliği bulunmadığından, özellikle ince ya da süreksiz katmanlar söz konusu olduğunda tabaka sınırlarının yanlışlıkla kesişmesi gibi durumlar meydana gelebilir ve bu tür hataların yazılımda düzeltilmesi önemli bir çaba gerektirebilir. Ayrıca, CAD sistemleri, projeye yönelik mevcut, geniş mühendislik jeolojisi verisini girdi olarak işlemek ve analiz etmek üzere tasarlanmamıştır, çoğunlukla düz, jeolojik olarak gerçekçi olmayan sınırlar kullanma eğilimindedir ve uygun sembololoji desteği sunmayabilir.

CAD ile jeolojik modelleme önerilmemektedir, ancak genellikle 2B haritalar ve kesitlerle sınırlı olan basit mühendislik jeolojisi modelleri için kullanılabilir. Bununla birlikte, MJM'nin proje unsurlarıyla entegrasyonunun sağlandığı ana platformlardan biri CAD olduğu için, modelleme amacıyla önerilmese de modelin sunumunda faydalı bir araçtır.

2.3.5.1.3 Açık modelleme yazılımı

Açık modellemede, modelleyici mühendislik jeolojisi birimlerini sınırlayan yüzeylerin yapısını ve dağılımını elle tanımlar ve yorumlamanın dayandığı araştırma verileri 3B olarak gösterilir. Açık modelleme, grid oluşturma (wire framing) ve sayısallaştırmanın 'geleneksel' manuel yöntemi olarak kabul edilir. Modelleyici, araştırma verilerini yorumlar ve ardından mühendislik jeolojisi birimlerini sınırlayan yüzeyleri tanımlar.

Şekil 2-13'te açık modelleme yazılımı kullanılarak elde edilmiş bir çıktı örneği sunulmuştur.



Şekil 2-13 Hafif eğimli andezitler ve geç evre felsit dayklarının girdiği fay zonlarını içeren beton bir ağırlık barajının temel jeolojisinin açık görselleştirilmesi (Görsel Richard Brehauss tarafından sağlanmış ve onun izniyle yeniden üretilmiştir).

2.3.5.1.4 Kapalı yazılım modellemesi

Kapalı modellemede yazılım, veri noktaları arasında interpolasyon ve ekstrapolasyon yapmak için kullanıcı tanımlı algoritmalar uygular. Çıktılar, mühendislik jeolojisi birimlerini karakterize eden özelliklerin dağılımını tanımlar. Bu dağılım sürekli bir yapı şeklinde olabileceği gibi, sınırlarla da tanımlanabilir. Bu yöntem, açık modellerde tipik olarak gözlemlenenden daha karmaşık yüzey şekillerinin oluşturulmasına olanak tanır. Ancak modellemenin jeolojik ilkeleri gözeterek mühendislik jeoloji ortamına uygun ve jeolojik olarak anlamlı şekiller üretip üretmediğinin değerlendirilmesi gerekir.

Kapalı modelleme yazılımlarından elde edilen bir çıktıya Şekil 2-14'te yer verilmiştir.

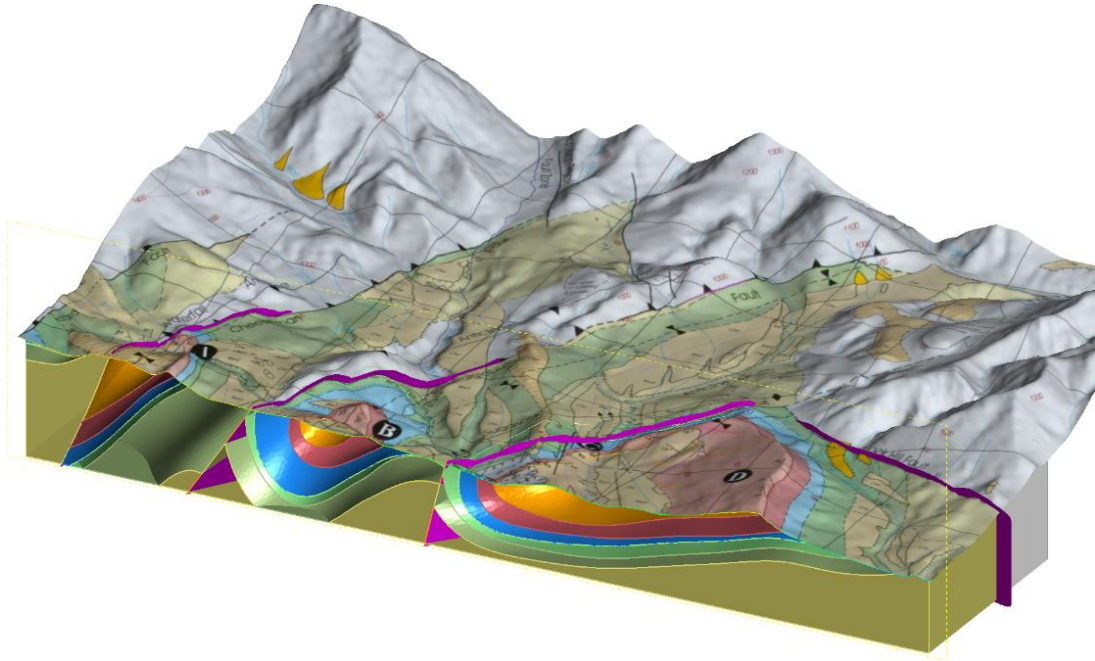
Yeraltı stratigrafisinde heterojenliğin önemli olduğu durumlarda, temel model 3B bir hücresel ağ (voksel ağı) oluşturacak şekilde ayrıştırılabilir. Bu vokseller, jeostatistiksel algoritmalar kullanılarak elektriksel özdirenç, geçirimsizlik, gözeneklilik, makaslama direnci gibi malzeme özellikleriyle ilişkilendirilebilir. Bu tür voksel tabanlı temsiller, sonlu farklar veya sonlu elemanlar yöntemi gibi sayısal modelleme teknikleriyle hesaplama yapmak ve mühendislik analizleri gerçekleştirmek için uygun ağlar oluşturmada kullanılır.

2.3.5.1.5 Açık ve kapalı sayısal modellerin karşılaştırılması

3B sayısal modeller geliştirmek için açık veya kapalı yöntemler kullanılabilir ve bu yöntemler genellikle entegre biçimde uygulanabilir. Modern, kapalı tabanlı modelleme yazılımları, yüzeylerin ayrıntılı biçimde oluşturulmasını kolaylaştırmak amacıyla açık modelleme işlevlerini de içerecek şekilde tasarlanmıştır.

Modelleme yöntemi ne olursa olsun, mühendislik jeolojisi bilgisi ve uygun jeolojik ilkelerin dikkate alınması zorunludur. Uygun şekilde tasarlandığında, her iki yöntem de benzer nitelikte yorumlara olanak sağlayan, güvenilir modeller üretebilir.

Aşağıdaki Tablo 2-2, her iki yaklaşımın avantajlarını ve sınırlılıklarını özetlemektedir.



Şekil 2-14 Yüzey gözlemlerinden elde edilen ve yeraltı sınırlarını tahmin etmek için algoritmalar kullanan kapalı model (görsel Pat McLarin tarafından sağlanmış ve izniyle yeniden üretilmiştir).

2.3.5.1.6 CBS kullanılarak jeolojik ortam modellenmesi

100–200 metre derinliğe kadar olan jeolojik ortamlar, mühendislik ve çevre projelerinde sıkça karşılaşılan durumlardır. Bu tür ortamlar, bir dizi birimin üst üste yerleştirilmesiyle sayısal olarak modellenebilir.

Bu yöntem, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) prosedürleri, sayısal sondaj kayıtları ve yorumlanmış mühendislik jeolojisi kesitlerinden elde edilen önceki ızgaralı yüzeylerin modele dahil edilmesine olanak tanır. Özellikle nispeten deforme olmamış tortul tabakaların modellenmesinde etkili ve pratik bir yaklaşım sunar.

Ancak, bu yöntemin bir sınırlaması vardır: Basit yüzey istiflerini bozan fay yapılarının modellenmesi bu yaklaşımla zor olabilir.

2.3.5.1.7 Ayırık kırık ağları

"Ayırık Kırık Ağı (DFN)", her bir kırığın geometrik özelliklerini (örneğin, yönelim, boyut, konum, şekil ve açıklık) ve hem bireysel kırıklar hem de kırık kümeleri arasındaki topojik ilişkileri açıkça temsil eden bir modeldir.

DFN modelleri; mühendislik jeolojisi haritalaması, uygun fotogrametri teknikleri, bu verilerle yapılan analizler ya da stokastik simülasyonlar yoluyla üretilebilir. Bu yöntemlerin tamamı, eklemler, faylar, damarlar ve tabakalanma düzlemleri gibi kayalardaki çeşitli kırık türlerini temsil etmeyi amaçlar.

Ancak çoğu durumda, kaya kütesindeki tüm süreksizliklerin her ölçekte ve yeterli çözünürlükte 3B olarak gözlemlenmesi mümkün değildir. Bu nedenle DFN modelleri genellikle mevcut verilere dayalı yorumlara veya hesaplamalı simülasyonlara dayanmak zorundadır.

Bir 3B kırıklı kaya kütesinin hesaplama modelleri, haritalama ve sondaj kayıtlarından elde edilen istatistiksel olasılık dağılımlarına dayalı olarak oluşturulan süreksizlik popülasyonlarıyla inşa edilir. Bu modeller, özellikle şev duraylılığı ve tünel duraylılığı gibi mühendislik problemlerinde olasılıksal analizler yapmak amacıyla kullanılır.

Tablo 2-2 Açık ve kapalı modellerin karşılaştırılması.

	Açık Modeller	Kapalı Modeller
Avantajları	- Modellemenin karmaşıklık düzeyi modelleyici tarafından belirlenebilir - Özel yazılım uygulamaları gerektirmeyebilir - Modelleyici, fay gibi kesen jeolojik yapıları ve özellikleri düzenli aralıklarla yerleştirilmiş kesitler üzerine açıkça çizerek ve bunları birleştirerek tanımlayabilir - Sahanın tamamında, bireysel kesit yorumları olarak manuel olarak sayısallaştırılabilir ve ardından bu kesitler birleştirilerek temsili kesitler oluşturulabilir - Alternatif olarak, modelleyici, birimleri sınırlayan mekansal verileri işlemek için profesyonel yazılımlar kullanabilir ve sınırları bağlayarak yüzeylerin grid oluşturma (wire framing) yapısını oluşturabilir - Dolayısıyla, ortaya çıkan model elle oluşturulan yüzeylerin bir fonksiyonudur. - Gözlemlenen temas noktaları arasına rasgele ek noktalar yerleştirilerek yüzeyler düzeltiler ve daha gerçekçi hale getirilebilir	- Birden fazla senaryoyu görselleştirmek ve test etmek amacıyla 3B modellerin hızlı bir şekilde oluşturulması ve analiz edilmesi mümkündür - Yeni veriler elde edilip modele girildiğinde dinamik modelleme ile model hızla güncellenebilir - Kişisel bilgisayarda büyük ve çeşitli veri setleri işlenebilir - Modellemenin farklı aşamaları, revizyonlar (belirli zamanlarda) olarak kaydedilebilir ve böylece alternatif hipotezler araştırılabilir - Alan tanımlama ve variogram olmadan doğrudan sondaj verilerinden eş-derece modeli yapılabilir - Modelleyici sezgisine değil, veriye dayanan, yeniden üretilebilir birden fazla model oluşturulabilir. Ancak bu durum, elde edilen modelin makul olup olmadığının değerlendirilmesinde jeolojik bilginin de kullanılmasını gerektirir - Birçok kapalı modelleme yazılım paketi, yüzeylerin açıkça düzenlenmesine olanak tanır
Dezavantajları ve sınırlamaları	- Manuel sayısallaştırma zaman alıcı olabilir - Nihai model, modelleyicinin yorumuna dayalı bir üründür ve farklı modelleyiciler tarafından yeniden üretilemeyebilir - Belirsizliği ölçmek zordur - Yeni veya farklı veriler elde edildiğinde otomatik olarak güncellenemeyebilir; bu nedenle, düzenlemeler kapalı modellere göre daha fazla zaman alabilir	- Modelin nasıl çalıştığına ilişkin ayrıntıların belgelenmesi ya da modelden ham verilere uzanan iyi belgelenmiş bir denetim geçmişi sağlanması zor olabilir; bu nedenle, anahtar giriş verilerinin titizlikle kaydedilmesi önemlidir - Sayısal modellerdeki belirsizlik devam eder ve bu belirsizliklerin kaynaklarının ve etkilerinin nicel olarak ortaya konması ya da açıkça belirtilmesi için çaba gösterilmesi gerekir - Interpolasyon algoritmalarının bağımsız olarak yeniden üretilmesi ve doğrulanması zor olabilir

2.3.5.1.8 Yeraltısuyu, kirletici ve ısı akısı modelleri

Zamanla meydana gelen değişiklikleri tahmin etmek için çeşitli sayısal modeller kullanılabilir:

- Hidrolojik değişikliklerin (yeraltısuyu pompalama veya sulama projeleri gibi) bir akiferin davranışı üzerindeki etkileri.
- Çevredeki doğal yeraltısuyu akışı ve yeraltısuyunun kimyası. Bu tür yeraltısuyu modelleri, kimyasalların doğal, kentsel veya varsayımsal senaryolardaki akıbetini ve hareketini tahmin etmeye çalışır.
- Yeraltı ısı akısı. Bu tür modeller, yer sıcaklığının derinlikle periyodik değişimini tahmin etmeye çalışır.

Tüm bu modeller uygun şekilde nitelendirilmiş ve iyi tanımlanmış 3B sayısal bir model üzerine inşa edilir. Genellikle, sadece sayısal analiz kullanılarak yaklaşık yöntemlerle çözülebilen diferansiyel denklemler daha sonra zaman içindeki değişiklikleri tahmin etmek için kullanılır.

Bu tür modeller mutlaka kalibre edilmelidir. Kalibrasyon, modelin gerçek gözlemsel verilerle çalıştırılması ve yakın bir uyum elde edilene kadar modelin/parametrelerin değiştirilmesi anlamına gelir.

2.3.5.2 Veri Kaynakları ve Yönetimi

Mühendislik jeolojisi karakterizasyonu için bilgi kaynakları, çok çeşitli araştırma yöntem ve tekniklerinden elde edilebilir. Bu veriler nokta olarak, doğrusal loglarda, 2B planlar veya kesitler veya 3B vokseller veya poligonlar olarak toplanabilir, kaydedilebilir ve görüntülenebilir. Bu çeşitlilik, uygun şekilde esnek bir genel veri yapısının sağlanmasını gerekli kılar.

Araştırmaların (sondaj, araştırma çukuru vb.) loglarının veya kayıtlarının bir 3B sayısal modele dahil edilmesi için ilişkisel bir veritabanı gereklidir. Bu tür veritabanlarında kayıtlar/girişler arasındaki ilişkiler, aşağıda verilen iki adet ilişkili tablo aracılığıyla kurulur:

- Koordinat, yönelim/azimut, eğim vb. konumsal bilgileri içeren veri kaynaklarının tablosu (kuyu başı tablosu).
- Her bir veri kaynağına ait derinlik veya derinlik aralıkları için kaydedilen özelliklerin bulunduğu nitelik tablosu (kuyu içi tablosu).

Bu iki tablo, genellikle tek bir öznitelik veya bir öznitelik grubu olan bir anahtarla birbirine bağlanır. Anahtar, ilişkisel bir veritabanının kritik derecede önemli bir parçasıdır ve tablolar arasındaki ilişkileri kurmak ve tanımlamak ve ayrıca bir tablonun içindeki herhangi bir kaydı veya veri satırını benzersiz şekilde tanımlamak için kullanılır.

Veri yönetimi açısından, mümkün olduğunca evrensel proje dosya formatlarının kullanılması önerilmektedir. Bu yaklaşım, yazılıma özel ve sürümler arası uyumluluğu sınırlı olan geçici dosya türlerine olan bağımlılığı azaltır. Sabit veya olgusal veriler, genellikle Birleşik Krallık'taki Jeoteknik ve Jeo-Çevre Uzmanları Birliği (AGS) formatı ile ABD'deki Jeoteknik ve Jeo-Çevre Uzmanları için Veri Değişim Standardı (DIGGS) formatı gibi ulusal veya uluslararası tanımlayıcı standartlara uyarlanabilir, standartlaştırılmış biçimlerde kodlanır.

Bu metin tabanlı formatlara, herhangi bir özel modelleme yazılımı olmaksızın erişim sağlanabilir. Ancak bu dosyaların boyutları büyük olabileceğinden, veri işleme ve depolama süreçlerinde dikkatli bir yönetim gereklidir. Proje yaşam döngüsü boyunca, jeoteknik gözlem verilerinin aktarımını kolaylaştıran çeşitli veri transfer standartları mevcuttur.

Tüm veri türlerinde olduğu gibi, coğrafi bilgiler ve gözlenen niteliklerin makul ve kabul edilebilir hata sınırları içinde olup olmadığını kontrol etmek için sağlam bir doğrulama süreci gereklidir. Bu süreç, modeller tarafından belirlenen ve belgelenen kriterlere dayanmalıdır. Bu değerlendirme sonucunda: Belirli veri kümelerinin modele dahil edilip edilmeyeceğine, Her bir veri setine ne düzeyde güvenileceğine ilişkin kararlar alınmalıdır. Alınan bu değerlendirme ve kararlar, modelleyici tarafından 3B Sayısal Model Raporu içinde ayrıntılı biçimde belgelendirilmelidir.

2.3.5.3 3B sayısal model dokümantasyonu

MJM, bir proje boyunca sürekli olarak güncellenirken tasarım ekiplerine 'sabit' çıktılar sağlamanın riskleri vardır. Tasarım ekiplerinin en güncel MJM bilgilerini kullandığından emin olmak için dinamik bir süreç gereklidir. Bilginin sabit (örneğin, laboratuvar test kayıtları gibi değişmesi beklenmeyen veri/bilgi) ve yeni veri/bilgi elde edildikçe gelişebilecek yorumsal bilgi (örneğin, mühendislik jeolojisi sınırları/yüzeyleri) olarak sınıflandırılması gerekebilir.

Projelerin sonraki aşamalarında, özellikle inşaat sırasında, 3B sayısal model yeniden gözden geçirilmeli ve yeni bilgiler/verilerle güncellenmeli ve ilişkili mühendislik çıkarımları yeniden yorumlanmalıdır. Bu sorumluluk, İşveren veya Yükleniciye ait olabilir ancak açıkça belirtilmelidir.

Karar destek sistemlerinde kullanılan sayısal modelin ve bileşenlerinin şeffaf şekilde “versiyonlanması” büyük önem taşır. Hukuki süreçlerde, modelin daha sonra keşfedilen bilgiler değil, oluşturulduğu anda mevcut olan en iyi bilgileri yansıttığının gösterilmesi gerekebilir. Sayısal modelin geçmişi bir elektronik tabloyla manuel olarak ya da yazılım veya çevrim içi tabanlı bir araçla otomatik olarak belgelenmelidir.

2.3.5.3.1 Etkin bir veri yönetimi iş akışının önemi

Etkin bir veri yönetimi, 3B sayısal model geliştirme süreci için etkin bir iş akışı oluşturmanın ön koşuludur. Bu yaklaşım, modelin geliştirilmesi ve kullanımı sürecinde genel maliyet açısından önemli ekonomik faydalar sağlar.

Aşağıdaki iş akışı önerilmektedir:

- **Planla:** Derlenecek verilerin tanımı ve bu verilerin nasıl toplanacağı, yönetileceği ve proje ömrü boyunca erişilebilir kılınacağı açıklanmalıdır. Bu süreç işveren/proje sahibi veya diğer paydaşları da içerebilir. Veri sahiplerinin kendi verilerini korumaları teşvik edilmelidir.
- **Topla:** Saha ve laboratuvar verilerinin standartlaştırılmış veri dosyaları, basılı veri raporları veya elektronik tablo/veritabanı veri toplama şablonları (standardize edilmiş form) hazırlanmalıdır.

- Güvence Altına Al: Kayıtlı verilerin kalitesi, uygun kurum içi doğrulama ve denetim prosedürleri (örneğin ISO 9001, UKAS, AGS) aracılığıyla güvence altına alınmalıdır.
- Tanımla: Veriler temizlenmeli (aykırı veriler ayıklanmalı), dikkatli şekilde düzenlenmeli ve son kullanıcı tarafından doğru biçimde anlaşılması sağlanmalıdır. Hariç tutulan verilerin nedenleri açık ve belgelenmiş olmalıdır.
- Koru: Veriler, indeksli bir bulut sisteminde veya proje klasör ve dosyalarında uzun vadeli olarak arşivlenmelidir.
- Keşfet: Potansiyel olarak yararlı veriler, verilerle ilişkili bilgilerle (meta veriler) birlikte bulunmalı ve elde edilmelidir.
- Entegre et: farklı kaynaklardan gelen veriler, kolayca analiz edilebilecek tek bir homojen veri seti oluşturmak için birleştirilmelidir. Burada, herhangi bir veri sınırlamasının veya ölçek sorununun açıkça tanımlanması ve kaydedilmesi kritik öneme sahiptir.
- Analiz et: Veriler, görselleştirme (kesitler veya 3B sayısal modeller) amacıyla kullanılır ve elektronik tablo veya veri analizi için daha gelişmiş yöntemler kullanılarak değerlendirilir.

2.3.5.4 3B sayısal modellerin incelenmesi

Kontrol eden ve inceleyen kişi, sahanın mühendislik jeolojisi koşullarına hakim, proje gereksinimleri ve 3B sayısal modellerin oluşturulmasında kullanılan yazılım paketi konusunda yeterli deneyime sahip olmalıdır.

3B sayısal modelin incelenmesinden önce, öncelikle modelleme sisteminin bir kontrolü tamamlanmalıdır. Kontrol eden mühendislik jeoloğu yazılım paketine aşina olmalı ve aşağıdaki hususları kontrol edebilmelidir:

- Giriş verilerinin güncel olup olmadığı ve veritaban(lar)ından doğru sütunların içe aktarılmış olması.
- Topografya ve 3B modelin çözünürlüğünün yeterliliği.
- Her mühendislik jeolojisi birimi için yüzey* seçimi.
- Her yüzeyin diğer mühendislik jeolojisi birimleriyle ilişkisi.
- Yüzeylerin 3B yapısı ile temel kavramsal modele, sondajlara ve giriş verilerine uygunluğu.
- Üretilmiş kesitler ya da diğer çıktılar.

3B sayısal modellerin kontrolü, incelenmesi ve doğrulanması modelleme sürecinde kritik bir adımdır ve kalite güvencesi sağlar. 3B sayısal model, MJM'nin bir kolu olduğundan, Bölüm 1.1'de özetlenen süreçler ve ilkeler ile Bölüm 1.2'de özetlenen geliştirme adımları izlenmelidir. 3B sayısal modellerin incelenmesi ve doğrulanması, geleneksel harita ve

kesitlerin incelenmesinden daha zor ve zaman alıcı olabilir, çünkü tüm yüzey ve hacim alanlarının MJM'ye uygunluğunu kontrol etmek ve doğrulamak gerekir.

Eğer 3B model, yorumlamada temel alınmış fakat çıktı olarak yalnızca 2B kesit ve harita sağlanmışsa, bu 2B kesitler standart uygulamalara göre (örneğin sondaj verilerinin değerlendirilmesi, jeolojik “mantık” kontrolü vb.) açısından incelenmelidir.

2.3.5.5 3B sayısal modellerin çıktıları

3B sayısal modeldeki belirsizliğin belgelenmesi ve açıkça iletilmesi önemlidir. Modelden türetilen yüzeyler veya diğer model bileşenlerine, belirsizlik derecesini belirten bir meta veri açıklamasının eklenmesi gerekir.

Görselleştirme 3B olarak oluşturulmuş olsa da her projede 3B çıktılar gerekmeyebilir. Bazı projelerde, 3B sayısal modelden elde edilen 2B çıktılar yeterli olabilir ya da daha uygun görülebilir. Günümüzde pek çok modelleme yazılımı, 2B çıktıları çeşitli formatlarda dışa aktarabilecek şekilde tasarlanmıştır; bunlar görüntüleme formatlarını (örneğin PDF) ve doğrudan başka yazılımlarda analiz amacıyla kullanılabilen sayısal çizim dosyalarını (örneğin *.dwg) içerebilir.

3B sayısal modeller, yer koşullarına bağlı elemanların tasarımını doğrudan desteklemek için diğer 3B modelleme ve tasarım yazılımlarına da aktarılabilir. Bu tür durumlarda, 3B sayısal modelin mevcut ve gelecekteki kullanıcıları için modeldeki belirsizliklerin açıkça iletilmesi büyük önem taşır.

Bazı durumlarda, 3B çıktının içine 2B detayların da dahil edilmesi yararlı olabilir. Bunun bir örneği, MJM içerisinde tipik veya özel 2B detay kesitlerinin 3B sayısal modele dahil edilmesidir. Bu bölümlere açıklama eklenebilir. Bu, 3B formatta kolayca ifade edilemeyen ayrıntıların sunulmasına olanak tanır ve MJM kapsamındaki detayların ve belirsizliklerin anlatımını kolaylaştırır.

Her türlü çıktı ile birlikte 3B Sayısal Model Raporu da sunulmalıdır.

Diğer görselleştirme teknikleri arasında 3B pdf dosyaları, çeşitli özel sayısal model görselleştirme araçları, animasyonlar ve videolar, sanal gerçeklik veya artırılmış gerçeklik, 3B baskı vb. yer almaktadır.

2.3.5.5.1 MJM ve Yapı Bilgi Modellemesi

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), bir yapının veya alanın fiziksel ve işlevsel özelliklerinin sayısal temsillerinin oluşturulması ve yönetilmesini içeren bir süreçtir. Bu süreç, uygun bilginin doğru zamanda uygun bir formatta üretilmesini ve böylece inşa edilmiş yapıların tasarımı, inşası ve işletimi boyunca daha iyi kararlar alınmasını sağlamaktır (Kessler vd., 2015). Yerin 3B görselleştirmesini projenin insan yapımı bileşenleriyle birleştirmek (bazen birleşik model olarak adlandırılır) örneğin tasarım değerlendirmesi sırasında oldukça faydalı olabilir.

Ancak belirsizlik ve modellerin geliştirilme şekli açısından YBM ile MJM arasındaki temel farkları anlamak önemlidir. MJM'nin sayısal çıktılarının YBM sistemlerine aktarılması ve

daha sonra bunlara yeterli doğruluk ve geçerlilik seviyesine ulaşmamışken kesin bilgiymiş gibi güvenilmesi, çeşitli sorunlara yol açabilir.

Ayrıca, belirsizlik düzeyini ve bunun MJM'ler ile YBM arasındaki ilgili ölçeklerle nasıl ilişkili olduğunu kullanıcılara/modelleyicilere hatırlatmak veya fark ettirmek önemlidir. YBM modelinde çalışmalar genellikle milimetre düzeyinde doğrulukla yürütülürken, MJM'ler yorumlanan yer koşullarına uygun olarak onlarca metrelik ölçekte doğruluğa sahip olabilir. Bu durum, herhangi bir modelin YBM hiyerarşisi içindeki uygulanabilirliğini ve Geliştirme Düzeyi (LOD) (BIM Forum 2019) kapsamındaki yerini doğrudan etkiler.

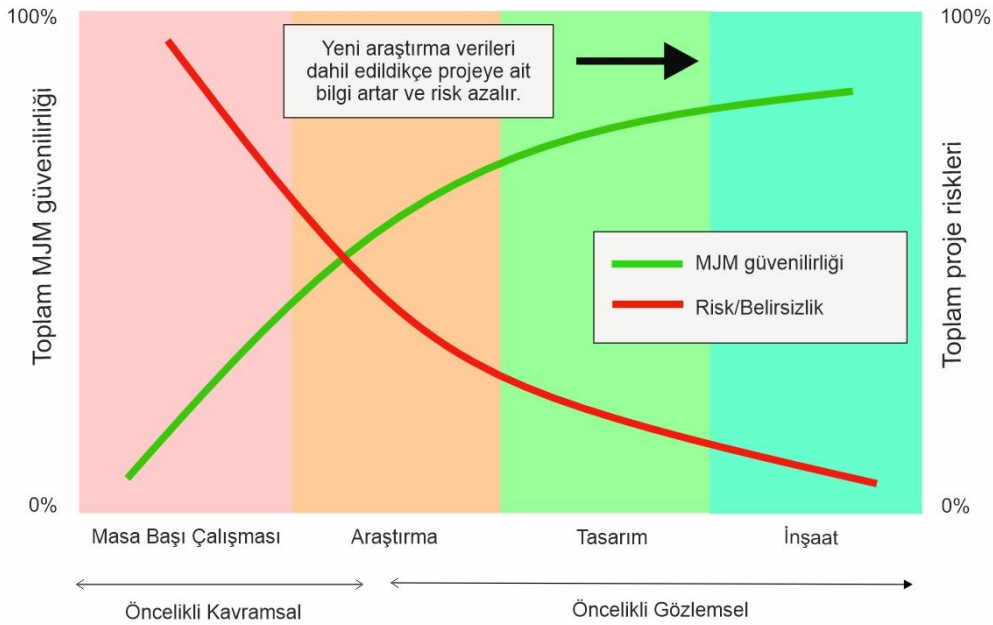
Bakınız Bölüm 1.3 MJM'NİN OLUŞTURULMASI VE SUNUMU

2.4 MJM'DE BELİRSİZLİK YÖNETİMİ

2.4.1 Giriş

MJM içindeki belirsizlik, bilgi çerçevesine dair kısmen bilinen veya tamamen bilinmeyen bileşenlerden kaynaklanmaktadır. Bu belirsizlik, MJM'nin güvenilirliğini olumsuz yönde etkileyebilir. Güvenilirlik, öngörülen mühendislik jeolojisi koşullarının, proje üzerinde etkili olan gerçek koşulları veya performansı ne ölçüde doğru ve makul şekilde temsil ettiğini ifade eder. Güvenilirliğin azalması, riskin artmasına yol açar. Risk, olumsuz bir sonucun meydana gelme olasılığı olup genellikle bir dizi olay ya da senaryonun sonuçları ile bu olayların gerçekleşme olasılıklarının bir kombinasyonu şeklinde tanımlanır.

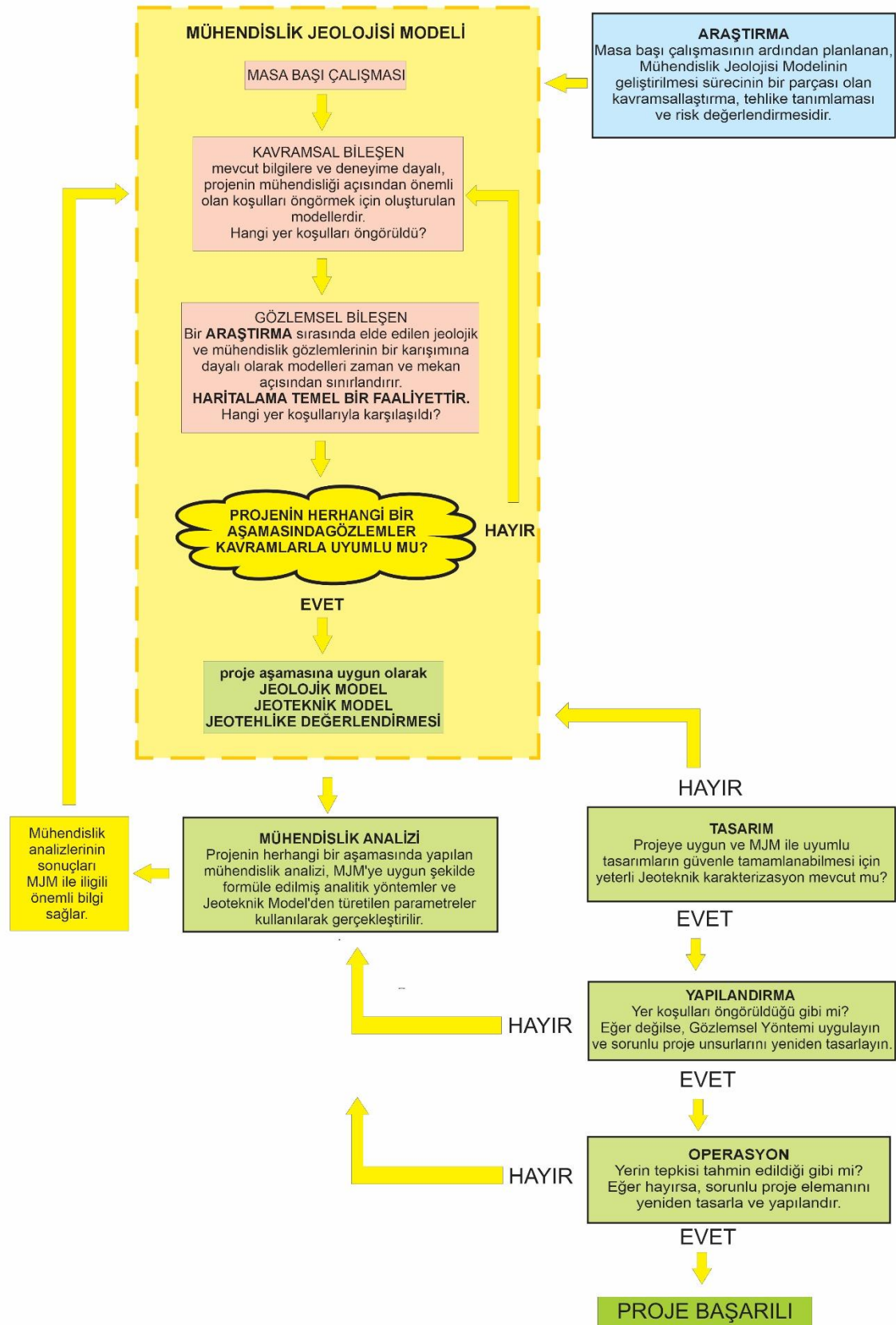
Güvenilirliğin artması ve riskin azaltılması, genellikle projenin ilerlemesiyle birlikte yürütülen çeşitli araştırma aşamalarıyla MJM içerisinde kavramsal ve gözlemsel bilginin birikimi sayesinde sağlanır (Şekil 2-15).



Şekil 2-15 Proje ilerledikçe MJM güvenilirliğinde idealleştirilmiş iyileştirmeler.

Ancak riskin aşamalı olarak, sırasıyla araştırma, tasarım ve inşaat adımlarının izlenmesiyle azaltılacağı ve buna bağlı olarak güvenilirliğin artacağı yönündeki klasik varsayım yanıltıcı olabilir. Anlamlı bir risk azaltımı ve anlayış gelişimi, projenin her bir aşamasında geri bildirim döngülerini gerektirir (Carter 1992, Carter ve Marinos 2020). Proje ilerledikçe MJM'nin gözden geçirilmesi, doğrulanması ve gerektiğinde iyileştirilmesi veya değiştirilmesi zorunludur. Güvenilirlikteki iyileştirme, kavramsal fikirler ile gözlemsel verilerin sürekli bir gözden geçirme, karşılaştırma, düzeltme ve doğrulama süreciyle uyumlandırılması sayesinde sağlanır.

MJM'nin doğal, gerçek ve karmaşık jeolojik ortamlarla tam olarak doğrulanması oldukça güçtür. Ancak, MJM geliştirme sürecindeki geri bildirim döngüleri (Şekil 2-16), MJM'nin projeden türetilen gözlemlerle sınırlandırılmasına olanak tanır. Bu karşılaştırmaların, her ne kadar MJM her zaman tamamen doğru olmasa bile, proje ilerledikçe modelin güvenilirliğini artırdığı ortaya konulursa, inşaat süreci genellikle daha verimli şekilde tamamlanabilir.



Şekil 2-16 Proje yaşam döngüsü boyunca MJM'yi kademeli olarak iyileştirilmesine yönelik geri bildirim döngüleri.

Proje için kabul edilebilir olduğu düşünülen risk seviyesi, işverenin risk toleransını yansıtır ve yer mühendisliği sektöründe ve dünya genelinde büyük farklılıklar gösterebilir. Bu hedef risk profili, projenin erken aşamalarında dikkate alınmalıdır, çünkü nihayetinde MJM bilgi çerçevesi içinde kabul edilebilir belirsizlik seviyesini ve dolayısıyla belirsizliği kabul edilebilir seviyelere düşürmek için gereken araştırmaların niteliğini ve kapsamını belirler. Hedef risk profili, nitel olarak ifade edilmiş kabul edilebilir bir risk seviyesinin basitçe belirtilmesinden, karmaşık nicel risk değerlendirmesinin ve kesin olarak tanımlanmış kabul kriterlerinin kullanımına kadar çeşitli şekillerde ifade edilebilir.

Proje yaşam döngüsü boyunca MJM bilgi çerçevesi içindeki belirsizlik, teknik bilgiye sahip olmayanlar da dahil olmak üzere farklı proje paydaşlarının ihtiyaç ve anlayışlarına uygun yöntemler kullanılarak aktarılmalıdır. Aşağıdaki gibi basit ve şeffaf risk seviyesi sınıflandırmaları tercih edilebilir.

Proje Risk Seviyesi Derecelendirmesi

AŞIRI	Proje için önemli bir tehdit; acil eylem gereklidir
YÜKSEK	Proje için bir tehdit oluşturabilir; kurtarma mümkündür, üst düzey yönetimin dikkati gereklidir
ORTA	Proje için bir tehdit oluşturabilir; anında kurtarma mümkün olabilir, yönetim sorumluluğu belirtilmelidir
DÜŞÜK	Proje için asgari düzeyde tehdit oluşturur; rutin prosedürlerle yönetilebilir

2.4.2 Belirsizliğin kaynakları

2.4.2.1 Kavramsal modeldeki belirsizlik

Kavramsallaştırma süreci sırasında alınan kararlar modele yanlış payı ve belirsizlik katabilir. Bond *vd.* (2008) birkaç tür sapmaya dikkat çekmiştir ve en alakalı olanlar şunlardır:

- Mevcut bilgi yanlışması: Akla en kolay gelen ve tanıdık gelen yorum.
- Yaygın bilgi yanlışması: 'Uzman' görüşü veya yayınlanmış olan baskın bir görüşü kabul etmek.
- Doğrulama yanlışması: Sadece kendi hipotezini destekleyen görüş veya olguları arama veya benzer şekilde verileri hipoteze uyacak şekilde yorumlama.
- İyimserlik yanlışması: Daha olumlu bir sonuç üretecek şekilde yorumlama yapma (örneğin, mineralizasyonu kontrol eden yapıların sürekliliğini abartma veya fayları modele yerleştirilmekten kaçınma) veya proje çıktılarına olumsuz etkileyebilecek çelişkili verileri göz ardı etme.

Aşağıdaki faktörler de önemlidir:

- Verilerin proje ile mekânsal ilişkisi – konum ve ölçek açısından uygunluk.

- Mevcut veri kaynaklarının kalitesi.
- Mevcut verilerin temsil gücü ve hacimsel yeterliliği (miktar).
- Jeoteknik karmaşıklık.

Ancak kavramsal modelin genel güvenilirliği, öncelikle modelin geliştirilmesinde yer alanların deneyim ve bilgi düzeyine bağlıdır.

2.4.2.2 Gözlemsel modeldeki belirsizlik

Kavramsal model sağlam temellere dayanıyor ve yeterli miktarda gözlemsel veri içeriyorsa, gözlemsel modeldeki belirsizlikler şunlardan kaynaklanacaktır:

- Doğal/İlksel değişkenlik: Jeolojik ortamın doğasında bulunan mekânsal değişkenliktir ve azaltılamaz.
- Sınırlı veri: Yeraltındaki her noktada jeolojik ve jeoteknik özelliklerin ölçülmesinin imkânsızlığı; ölçümlerin sayısı ve dağılımı artırılarak belirsizlik azaltılabilir.
- Deneysel belirsizlik: Test cihazlarının ölçüm hassasiyetine ilişkin belirsizliklerdir, test ekipmanının kalitesi artırılarak giderilebilir.

2.4.3 MJM'nin inceleme yoluyla bütünsel değerlendirilmesi

Güvenilir bir MJM, gelişmekte olan kavramsal model ile elde edilen gözlemsel veriler arasında yeterli "uyum" ya da "tutarlılık" sağlandığında ortaya konulmuş olur. Bu uyumun ölçülmesinde esas alınan, temel mühendislik jeolojisi düşüncesini yansıtan ve sahaya özel olarak geliştirilen kavramsal modeldir. Bu karşılaştırma ayrıca kavramsal modelin yeterliliğinin değerlendirilmesine de olanak tanır - kavramsal model ile gözlemsel veriler arasında çok fazla tutarsızlık varsa ve bu tutarsızlıklar yeni gözlemler eklendikçe artıyorsa, kavramsal model gözden geçirilmeli ve revize edilmelidir. Kavramsal modelin önceki versiyonları yanlış veya hatalı olarak etiketlenmemeli, bunun yerine bu modeller MJM'nin gelişimine katkı sağlayan yinelemeli sürecin bir parçası olarak belgelenmelidir.

Uzman incelemesi, MJM'nin kavramsal bileşenlerinin değerlendirilmesini içerse de bu tür incelemeler genellikle sınırlı bir zaman diliminde gerçekleştiğinden modelin temel yapı taşlarına inerek güvenilirliğini doğrudan etkileyebilecek sorunları ortaya çıkarmakta yetersiz kalabilir. İnceleme sürecinin bu sınırlamasının etkisini en aza indirmek için en uygun yaklaşım, proje başlar başlamaz mümkün olan en erken fırsatta uzman incelemesini başlatmak ve ardından proje tamamlanana kadar düzenli olarak incelemeye devam etmektir. Uzman İncelemesi, örneğin büyük bir proje aksaklığı neticesinde projenin ortasında başlatıldığında yukarıda bahsedilen süreç mümkün olmayabilir.

2.4.4 MJM'nin belirsizliğini ve güvenilirliğini değerlendirmenin diğer yöntemleri

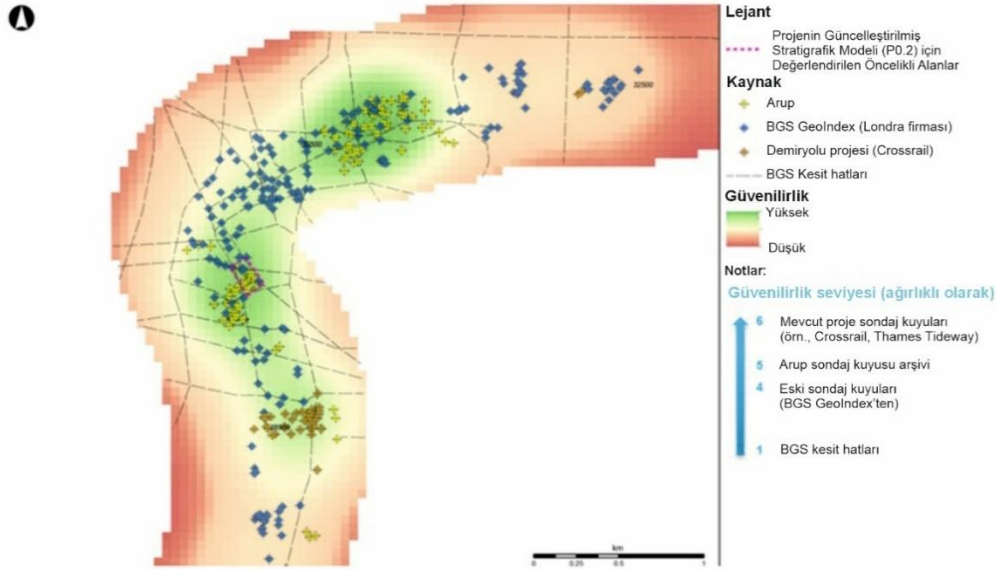
2.4.4.1 Kavramsal bileşenin güvenilirliğini değerlendirme

MJM'nin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi boyunca mutabık kalınan noktalarda kendi kendini kontrol etmeli, böylece kavramsal modelin güvenilirliği, modellenen alanla aynı jeolojik özelliklere sahip uygun kavramsal benzetimlerle karşılaştırılarak kıyaslanmalıdır. Bu nedenle,

kendi kendini kontrol etme süreci, geliştirilen kavramsal anlayışın gerçek dünyadaki katalog örnekleriyle karşılaştırılmasını hedeflemelidir.

2.4.4.2 Gözlemsel bileşenin güvenilirliğinin değerlendirilmesi – nitel yaklaşımlar

Gözlemsel modelin güvenilirliğinin kullanıcılara aktarılmasının grafikler ve tematik haritalar dahil olmak üzere birden fazla yolu vardır. Şekil 2-17, gözlemlerdeki belirsizliği grafiksel olarak ifade etmenin bir örneği olarak, bir ısı haritası biçiminde bir güvenilirlik diyagramını göstermektedir.



Şekil 2-17 Katmanlar için güvenilirlik düzeyi tematik haritası (Ting vd., 2020).

Modellerin geometrik gösterimindeki belirsizlik, aşağıdaki gibi çeşitli teknikler kullanılarak belgelendirilebilir ve görselleştirilebilir:

- Mesafe sorgulama (araştırma noktalarına olan mesafeye göre yüzey ve yeraltı renklendirilir).
- Yüzey eğimleri (araştırma noktaları arasında yüksek eğimli yüzeyler olarak gözlenen olası faylanmalar gibi ilgili alanları belirler).
- Model sınırlarının konturlanması, belirlenen sınırın ötesinde modelleme yapmamak için araştırma noktalarından maksimum uzaklıkta olacak şekilde konturlanır.

2.4.4.2.1 Jeoteknik Gözlemlerin Göreceli Güvenilirliği

Verilerin göreceli güvenilirliğini değerlendirmeye yönelik nitel bir yaklaşım, veri setlerinin güvenilirliğini (en azdan en çoğa doğru kesinlik sırasına göre) 'Anlaşılan', 'Koşullu', 'Gerekçelendirilmiş' ve son olarak 'Doğrulanmış' başlıkları altında sınıflandırılarak MJM'lere uygulanabilir (Bkz. Tablo 2-3).

2.4.4.3 Gözlemsel bileşenin güvenilirliğinin değerlendirilmesi- yarı-nicel yaklaşımlar

2.4.4.3.1 Tünelcilikte R-İndeksi

R-İndeksi, tünelcilik uygulamaları için hazırlanan Jeolojik ve Jeoteknik Modellerin güvenilirliğini tahmin etmek amacıyla geliştirilen bir puanlandırma yöntemidir (Perello vd.,

2005; Dematteis & Soldo, 2015; Venturini *vd.*, 2019) ancak daha sonra, özellikle açık ocak maden modellerinin doğrulaması için madencilik sektöründe de uygulanacak şekilde genişletilmiştir (Carter & Barnett 2021). Bu yöntem, modelin güvenilirliğini belirlemek için jeoteknik araştırma verilerinin kalitesini ve sahanın jeolojik karmaşıklığını değerlendirir.

Tablo 2-3 Mevcut bilgilerle ilgili belirsizlik

Veri Türü	MJM'nin Kılavuzlara uygun olarak türetildiği varsayılarak belirlenen gereklilikler (Haile 2004'ten uyarlanmıştır)
Anlaşılan	- Sahaya özgü jeoteknik veriye gerek yoktur veya mevcut değildir. - MJM öncelikle kavramsalıdır. - MJM'nin güvenilirlik düzeyi düşüktür.
Koşullu	- Projeye özgü veriler, temel mühendislik jeolojisi birimlerini ve türetilen jeoteknik alanları genel hatlarıyla temsil etmektedir; ancak lokal değişkenlik veya süreklilik yeterince açıklanamaz. - Gözlemler kavramsal modelle genel olarak uyumludur. Uygun olmayan alanlar tanımlanmıştır. - MJM'nin güvenilirlik düzeyi orta düzeydedir.
Gerekçelen-dirilmiş	- Projeye özgü veriler, mühendislik jeolojisi birimlerini tanımlamak ve her birimdeki jeoteknik özelliklerin sürekliliğini ve değişkenliğini göstermek için yeterli mekansal dağılıma (yoğunluğa) sahiptir. - Kavramsal ve gözlemsel modeller arasında yüksek düzeyde uyum bulunmaktadır. - MJM'nin güvenilirlik seviyesi yüksektir.
Doğrulanmış	- Sahaya özgü veriler türetilmiştir. Tüm mühendislik jeolojisi sınırları/birimleri, inşaat sırasında ortaya çıkarılarak sahada haritalanmıştır. - Kavramsal ve gözlemsel modeller arasında yüksek düzeyde uyum bulunmaktadır. - MJM, temel/tünel gibi yapılarda yüzlek haritalama ve <i>yerinde</i> koşulların doğrudan gözlemlenmesini içerir. - MJM en yüksek güvenilirlik seviyesine sahiptir.

Dematteis ve Soldo (2015), yöntemin tünellecilikte uygulanmasına yönelik detaylı açıklamalar sunmuştur. Bu açıklamalar, aşağıdaki parametreleri dikkate alan bir sınıflandırma sistemine dayanmaktadır:

- Jeolojik ve jeoteknik araştırmaların kalitesi: Yöntem, her biri için puanlandırma tabloları sunulan parametreleri aşağıdaki başlıklar altında gruplamaktadır:
 - Hava fotoğrafı ve uydu görüntüsü yorumlaması da dahil olmak üzere mühendislik jeolojisi haritalaması.
 - Jeofizik araştırmalar (dolaylı araştırmalar).
 - Sondaj ve loglama, saha deneyleri ve laboratuvar deneyleri (doğrudan araştırmalar).
- Sahanın karmaşıklığı, Sistem Parametreleri adı verilen aşağıdaki üç jeolojik parametre vasıtasıyla tanımlanabilir (yöntem, öngörülen jeolojik koşullara göre kullanılacak puanlandırmaları içeren bir tablo sunmaktadır):

- Litostratigrafik karmaşıklık (LC).
- Sünek deformasyonlara bağlı yapıların karmaşıklığı (DC).
- Kırılğan/gevrek deformasyonlara bağlı yapıların karmaşıklığı (BC).

İlgili parametrelerin birçoğunun (Kalite Parametreleri ve Sistem Parametreleri) birbirleriyle ilişkili olabileceğinden, tek bir parametrenin diğerleri üzerindeki etkisi ve tam tersi, ikili ve tam bağlı etkileşim matrisleri vasıtasıyla dikkate alınmaktadır.

R-indeksi, tünelin jeolojik ve jeoteknik boyuna profili boyunca hesaplanmaktadır. Kesit, homojen bölümlere ayrılmakta ve yukarıda açıklanan parametrelerin her biri bu bölümlere atanarak her bir kesim için R-İndeksi hesaplanmaktadır. R-İndeksi değerleri 0 ile 10 arasında değişmektedir. Modelin güvenilirliği açısından anlamı, çeşitli vaka çalışmalarının incelenmesiyle elde edilmiş olup, Tablo 2-4'te dört sınıf (A, B, C, D) olarak ifade edilmektedir.

Tablo 2-4 R-İndeksini kullanarak tünel projelerinde jeolojik ve jeoteknik model güvenilirliği (Dematteis ve Soldo 2015'ten değiştirilmiştir).

R-İndeksi		Güvenilirlik	Tanım
Sınıf	Değer		
A	10 – 7,6	İyi- çok iyi	Kesitte belirtilen litolojik sınırlar ve faylara ± 25 -50 m aralığında rastlanacak olup, litolojik katmanların kalınlığına ilişkin hata payı %10 ile %20 arasında olabilir.
B	7,5 – 5,1	Orta- iyi	Kesitte belirtilen litolojik sınırlar ve faylar ± 50 -100 m aralığında karşılaşılabilecektir; litolojik katmanların kalınlığı için hata payı %30 ile %50 arasında olabilir. Belirtilenlere ek olarak, diğer küçük faylar da mevcut olabilir.
C	5 – 2,6	Zayıf- orta	Kesitte belirtilen litolojik sınırlar ve faylar ± 100 -200 m aralığında karşılaşılabilecektir; litolojik katmanların kalınlığı için hata payı %50 ile %100 arasında olabilir. Belirtilmeyen büyük faylar da mevcut olabilir.
D	2,5 – 1	Hepsi güvenilir değil veya tamamen güvenilirmez	Kesitte belirtilen litolojik sınırlar ve faylar bulunmayabilir ve başka unsurlar mevcut olabilir. Litolojik katmanların kalınlığı tanımlanmamıştır. Tahmin edilenlerden başka jeolojik unsurlar mevcut olabilir.

Yöntem, modelin güvenilirliğini artırmak için jeoteknik araştırma planının nasıl ele alınacağını gösteren özel bir modül içermektedir (Perello vd., 2005; Dematteis ve Soldo 2015). Yöntem, modelin her bir verinin kalitesinin ve farklı jeoteknik araştırma türlerinin puanlandırmayı iyileştirmeye yönelik etkisinin değerlendirmesini yapar ve dolayısıyla modelin güvenilirliğini artırmak için en uygun jeoteknik araştırma türünün belirlenmesine destek sağlamaktadır.

2.4.4.3.2 Belirsizlik Değerlendirmesi

Bir saha araştırması tamamlandıktan sonra, MJM bilgi çerçevesinin farklı bölümlerine ilişkin belirsizlik düzeyi ve güvenilirlik sistematik biçimde değerlendirilebilir. Bu değerlendirme,

proje etkilerinin belirlenmesi açısından önemlidir ve örneğin Paul (2018) tarafından geliştirilen yöntem kullanılarak gerçekleştirilebilir.

2.4.4.3.3 Meta veri ifadelerinin kullanımı

Hem veri hem de yorum içerebilecek elektronik veri dosyalarına ilişkin belirsizlik, kurumlar içinde veya farklı disiplinler ve yazılım uygulamaları arasında paylaşılmakta olan dosyalara eklenen bağımsız bir meta veri bildirimi olarak belgelendirilebilir.

2.4.4.4 Gözlemsel bileşenin güvenilirliğinin değerlendirilmesi- nicel yaklaşımlar

Bu tür belirsizliği nicel olarak ölçmek ve yönetmek için aşağıda tanıtılan yöntemler: rastgele alan yaklaşımı, kriging yöntemi ve stokastik simülasyon yöntemi; kullanılabilir.

2.4.4.4.1 Rastgele alan yaklaşımı

Bu yöntem, kullanıcıların mekansal değişkenlik belirsizliğini deterministik bir eğilim fonksiyonu ve rastgele dalgalanmalar aracılığıyla yorumlamalarını sağlar. Rastgele dalgalanma özelliklerini bir Monte Carlo simülasyonu içinde uygulanarak, ilgi alanının tamamı üzerindeki parametrelerin tahmini değerleriyle ilgili mekansal standart sapma hesaplanabilir (Vanmarcke, 1984).

2.4.4.4.2 Kriging Yöntemleri

Kriging yöntemleri, zemin ve kayaların mekanik ve hidrolik özellikleri ile bunların içerdiği sıvılar gibi niceliksel coğrafi referanslı verilerin mekansal dağılımının haritalanmasına olanak tanıyan jeostatistikle ilgili tek değişkenli ve çok değişkenli teknikler bütünüdür. Bu yöntemler, ayrı bir şekilde ölçülen belirli bir etki alanının (örneğin, bir mühendislik jeolojisi birimi) niceliksel niteliklerini rastgele ve mekansal olarak bağımlı değişkenler olarak ele alan Bölgeselleştirilmiş Değişken Teorisine dayanmaktadır. Yani, birbirine yakın ölçüm noktalarından elde edilen değerlerin, birbirinden uzak olanlara göre daha benzer olacağı varsayılır. Bu jeostatistiksel teknikler, kriging varyansı olarak tahminlere ilişkin belirsizliğin nicelendirilmesini sağlar ve bu varyans aracılığıyla standart sapma değeri (aynı mühendislik jeolojisi birimi içinde) ya da güven aralığı sınırları belirlenebilir (Vessia vd., 2020). Kriging yöntemlerinin anlamlı sonuçlar vermesi için, MJM ile geliştirilen mühendislik jeolojisi birimleri için yapılması gerekir.

2.4.4.4.3 Stokastik Simülasyon yöntemleri

Stokastik Simülasyon yöntemleri, deneysel ölçümlerle tanımlanan mekansal değişkenlik fonksiyonları (varyogram veya LMC) kullanılarak elde edilen bir dizi gerçekleşme sağlayarak belirsizliğin nicelleştirilmesine olanak tanır. İncelenen jeoteknik parametreye ait mekansal dağılımın çok sayıda eşolasılıklı konfigürasyonunu üretir ve böylece, ilgili alanın her bir noktasındaki değerlerin istatistiksel dağılımı elde edilerek yerel belirsizliğin hem tahmini hem de nicel değerlendirmesi sağlanır.

2.4.4.4.4 Veri belirsizliğinin tasarım parametrelerine dahil edilmesi

Tasarımın bu yönlerine ilişkin yorumlar bu Kılavuz'un kapsamı dışındadır.

Bakınız Bölüm 1.4 MJM BELİRSİZLİK YÖNETİMİ

2.5 MJM KALİTESİNİN SAĞLANMASI

2.5.1 MJM genel kalite hedefleri

MJM, bir dizi hedefi karşılamayı amaçlamalıdır ve şu özelliklere sahip olmalıdır:

- **Uygun-** Proje ihale dokümanlarına/şartnamelerine uygun olmalıdır.
- **Sağlam-** tüm mevcut verilerin bütüncül biçimde bir araya getirilmesiyle, önemli ölçüde deneyim katkısıyla ve jeolojik mantığa uygun şekilde oluşturulmuş bir anlayışa dayanmalıdır.
- **Şeffaf-** teknik bilgisi olmayan kişilerin bile kolayca erişebileceği ve anlayabileceği şekilde olmalıdır.
- **Savunulabilir-** makul eleştirilere karşı durabilecek kadar yüksek kalitede olmalıdır.
- **Tutarlı-** modelin tüm bileşenleri birbiriyle uyumlu olmalı ve ciddi kusurlar içermemelidir.
- **Yeterli-** saha koşullarındaki tüm önemli mühendislik jeolojisi özelliklerini belgelendirmeli ve açıklamalıdır.
- **Gerekli-** MJM içerisinde yer alan ancak esas olmayan kısımlar ayıklanmalıdır.

2.5.2 MJM geliştirme sürecinin kalitesinin kontrol edilmesi

2.5.2.1 Model Girdi Verilerinin Standardizasyonu

Model girdi verilerinin standardizasyonu, aynı projenin farklı aşamalarında (farklı kurumlar veya kişiler tarafından yürütülebilecek) modellerin geliştirilmesinde karşılaşılabilecek zorlukları azaltacak ve/veya varlık portföyleri arasında veri girişi formatlarının standardize edilmesine yardımcı olacaktır. Bu, kullanıcıların/işverenin bu modelleri kurum içinde dağıtabilmelerini ve böylece yaygın biçimde kullanmalarını, modelden azami faydayı elde etmelerini ve modellerin jeoloji, jeoteknik ve inşaat mühendisliği disiplinleri dışındakiler tarafından daha iyi anlaşılabilmesini sağlamaktır. Aşağıdaki Tablo 2-5, mekansal katman kategorizasyonu açısından kapsamlı olmayıp, kullanıcıların/işverenlerin 'tipik' bilgi içeriğine dair ne tür ayrıntı düzeyleri görmek isteyebileceklerine ilişkin bir rehber sunmayı amaçlamaktadır.

'Standart' formata uymayan eski bilgilerin 'yanlış veya eksik' olarak sınıflandırılabilmesini ve veritabanından çıkarılabileceğini unutmayın. Ancak, bu tür veriler yer koşulları hakkında paha biçilmez öngörüler sağlayabileceğinden, modele dahil edilmesi önemlidir. Bu nedenle, veri girişi standardizasyon protokollerinin standart olmayan ancak muhtemelen kritik önemdeki verileri filtrelemek ve hariç tutmak için kullanılmaması büyük önem taşır.

Bazı projelerde model veri girişlerinin projeye özgü bir sayısal mühendislik yönetim planına uygun olması gerekebilir.

Tablo 2-5 Girdi Verilerinin Standardizasyonu

Veri Türü	Alt tür	Gerekli bilgiler
Topoğrafya		Edinme tarihi, edinme yöntemi, topoğrafyanın tanımı (örneğin x ve y yüzeylerinden birleştirilmiş vb.), değiştirilmiş veya güncel mi? belirtilen doğruluk, ölçek
Sondaj /kazı verileri	Kuyu başı	Kuyu numarası, kuyu xyz koordinatları, projeksiyon ve datum, derinlik, eğim, azimut, loglama standardı, kuyu/test çukuru/araştırma hendeği tipi, yöntem
	Kuyu içi verileri (tüm türev veriler için temel veri seti)	Kuyu numarası, başlangıç- bitiş derinliği, kaya/zemin türü, genellikle bilinen bir veri formatındaki bir veritabanında bulunan kaya/zemin tanımlaması, örneğin AGS ve tüm veritabanı
Yapısal (jeolojik ölçüm) verileri		Edinme tarihi, süreksizlik türü, manyetik veya gerçek kuzey azimut ölçümü
Piezometre verileri		Kuyu numarası, delme tarihi, kuyu başı, kot (RL), kuyu derinliği, piezometre tipi, ölçüm tarihi, su seviyesi, <i>yerinde</i> geçirimsizlik test sonucu
Jeolojik kesitler		Kesit başlığı ve kısa açıklama, hazırlanma tarihi, çizen/üreten, onaylayan kişiler, kesit atım toleransı/hassasiyeti, yönelimi, ölçek, sondaj/kuyu projeksiyon yöntemleri
Başlıca jeolojik yapısal özellikler (faylar, dayklar, makaslama zonları, antiklinal ve senklinal eksen)		Fay tanımı (eğer varsa), güvenilirlik (kavramsal, çıkarımsal/düşük, orta veya yüksek), ekstrapolasyon mesafesi ve gerekçelendirme, tahmini fay/fay zone genişliği (eğer biliniyorsa), fay özelliklerinin tanımı ve tanımlayıcı standart (örneğin, AS 1726:2017 gibi)
Coğrafi Referanslı Haritalar	Havadan görüntüleme/karasal uzaktan algılama	Edinme tarihi, tür - Lidar, hava fotoğrafı, uydu görüntüsü vb. edinme yöntemi, dalga boyları (uydu bantları), işleme yöntemleri, değiştirilmiş veya güncel mi? coğrafi referanslamanın tahmini doğruluğu, ölçek
	Çizimler (uygun şekilde çizimin üzerinde veya adlandırma kuralına dahil edilecek bilgiler)	Çizim numarası, oluşturulma tarihi, ölçek, çizim açıklaması (lejant) (varsa), orijinal çizimin datum bilgisi, coğrafi referanslamanın tahmini doğruluğu
Jeofizik	Araştırma hatları (örneğin sismik)	Edinme tarihi, edinme yöntemi, kara veya su üstü, gösterge, coğrafi referanslamanın tahmini doğruluğu
	Hava araştırmaları (örneğin, gravite veya radyometrik)	Edinme tarihi, edinme yöntemi, açıklama, coğrafi referanslamanın tahmini doğruluğu, ölçek
	Kuyu içi jeofiziği (örneğin, kablolu izleme (yoğunluk) veya görsel kuyu tarama (ATV))	Ölçüm türü, edinim tarihi, ölçüm ölçeği (uygun şekilde)

Bakınız Bölüm 1.5 MJM KALİTESİNİN SAĞLANMASI

2.6 MJM VE PROJE MÜHENDİSLİĞİ

2.6.1 Genel bakış

MJM bilgi çerçevesi proje dokümantasyonu, proje tedariki, araştırma, tasarım, inşaat ve risk yönetimi süreçlerini destekler. Bu nedenle MJM, Proje Sahibi (İşveren), Proje Mühendisi, Yüklenici, Düzenleyici kurumlar ve diğer proje paydaşları için önemlidir.

2.6.2 MJM ve proje aşamalarına genel bakış

MJM, modelleme-analiz-tasarım-inşaat-işletme süreci boyunca kritik bir rol oynar. Her proje aynı şekilde gelişmeyecek olsa da ve farklı yer mühendisliği sektörlerinde proje aşamalarını tanımlamak için farklı terimler kullanılsa da MJM'nin proje boyunca nasıl gelişebileceğine dair genel bir çerçeve aşağıda belirtilmiştir:

Kavram Geliştirme / Ön Fizibilite Aşaması

- Büyük ölçüde masa başı çalışmasına ve mevcut bilgilere dayanmaktadır.
- Özellikle yakın alan (proje sahası) ölçeğinde düşük güvenilirlik; uzak alan (bölgesel) ölçeğinde daha iyi güvenilirlik söz konusudur.
- Çoğunlukla kavramsaldır.
- İlk Jeolojik Model ve gerekli durumlarda ön Jeotehlike Değerlendirmesi oluşturulur.
- Üst düzey jeoteknik sorunlar ve tehlikeler ile devamındaki araştırma aşamaları hakkında bilgi verir.
- Bu aşamada 3B görselleştirmeye başlanabilir.
- Görselleştirme, örneğin jeomorfoloji, stratigrafi veya litolojinin yorumlanmasını desteklemeye yönelik nispeten basit veya keşif haritalaması yapılması durumunda daha karmaşık olabilir.

Fizibilite Aşaması

- Sahaya özgü araştırma verileri mevcuttur. Kavramsallaştırma gözden geçirilmiş ve gerekiyorsa düzeltilir.
- Jeolojik Model oluşturulur.
- MJM güvenilirliği nitel veya nicel yöntemlerle değerlendirilir. Yer davranışını kontrol eden mühendislik jeolojisi faktörleri ve olası kritik göçme mekanizmaları sorgulanır.
- Belirsizlikleri azaltacak ve kavramsallaştırma ile gözlemsel veriler arasında sinerji sağlayacak şekilde yeni araştırma tasarlanır.
- Jeoteknik Model üretilir ve Jeotehlike değerlendirme gerçekleştirilir.
- Belirli analizleri yönlendirecek ilk analitik modeller oluşturulur.
- MJM güvenilirliğinin tasarım aşamasıyla uyumlu olup olmadığı denetlenir.

Şematik Tasarım/İhale Tasarımı Aşaması

- İlave saha araştırmaları sayesinde Jeolojik ve Jeoteknik Modeller ve Jeotehlike Değerlendirmesinde daha fazla ayrıntı sağlanır.
- Tasarımı yönlendirecek analitik modeller geliştirilir.
- Gerektiğinde daha büyük ölçekte daha iyi güvenilirlik sağlamak için ek alt modeller geliştirilir.

- Sözleşmesel düzenlemeler izin veriyorsa, MJM ihaleye katılanlara aktarılır.

Detaylı Tasarım Aşaması

- Görselleştirme 3B sayısal bir modelleme olabilir.
- İstenilen ölçekte hedeflerle tutarlı güvenilirlik elde edilir.
- Jeolojik ve Jeoteknik Modellerden geliştirilen analitik modeller ve Jeotehlike değerlendirmesi yüksek güven seviyesiyle geliştirilmiştir.

Bu aşamadaki temel sorular şunlardır:

- Analiz başlamadan önce MJM tarafından bildirilen tasarım üzerindeki mühendislik jeolojisi kontrolleri nelerdir?
- Analitik sonuçlar, mekanizmalar ve zemin/kaya davranışı hakkında mevcut kavramsal anlayışı nasıl destekler ve bu anlayışla ne ölçüde uyumludur?
- Mühendislik jeolojisi ve analitik bilgiler, tasarım parametrelerinin seçimini nasıl etkiler? Proje risk profili tasarım kararlarını nasıl şekillendirir?

İnşaat Aşaması

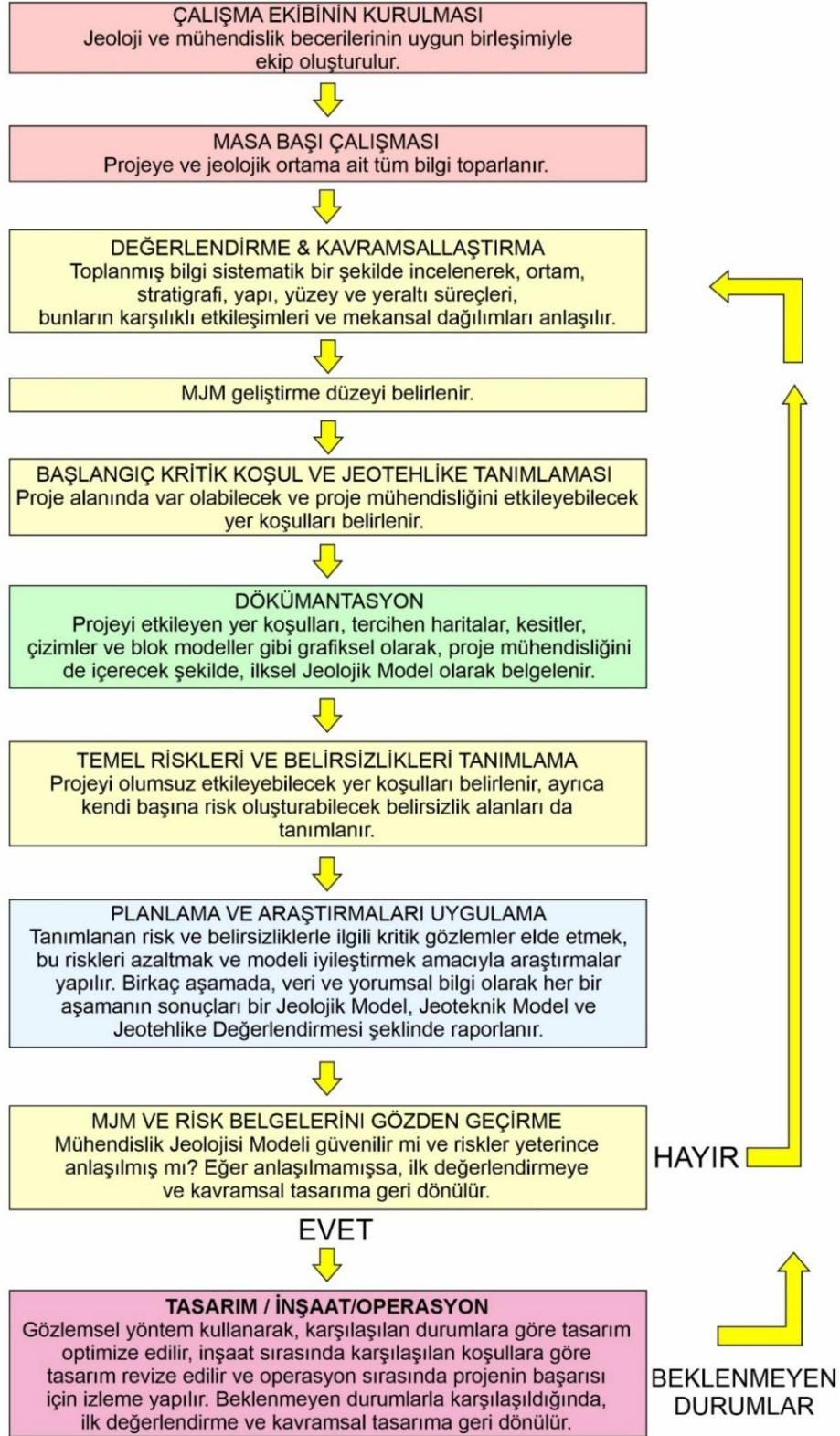
- MJM, inşaat çalışmalarında öngörü aracı olarak kullanılır ve inşaat süresince elde edilen jeolojik ortam bilgilerine bağlı olarak sürekli güncellenir.
- İnşaat gözlemleri ve izleme verileri, tasarım doğrulama sürecinde kullanılır.
- Sahada karşılaşılan koşulların bir tür “yerinde inşa edilmiş” kaydı olarak işlev görür.
- Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ile entegre edilebilir.

2.6.3 Saha araştırmalarında MJM

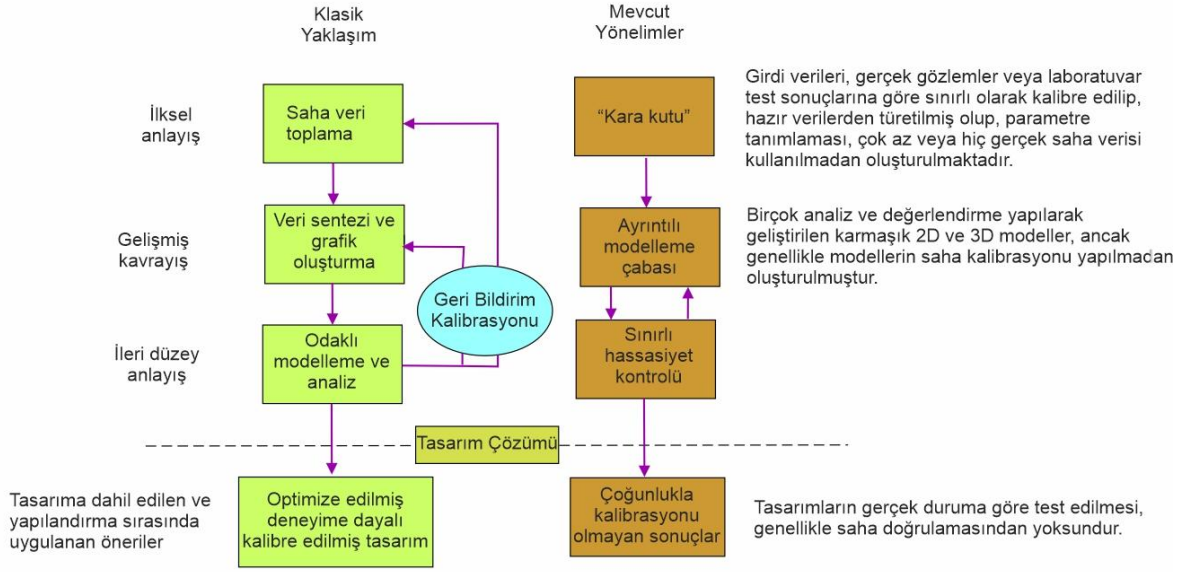
İlk Jeolojik Modelin geliştirilmesinin ardından, ilk risk kayıtlarını takiben, modeli test etmek ve belirsizlik taşıyan alanları araştırmak için saha araştırması planlanabilir. Mühendislik jeolojisi açısından, araştırmanın odak noktası aşağıdaki temel hedeflere ilişkin bilgilerin elde edilmesi olmalıdır:

- Sahanın içinde ve çevresindeki yerleşim, stratigrafi, yapı ve yüzey süreçlerine ilişkin mevcut bilginin doğrulanması. Veriler, bir yapının köşeleri gibi proje yerleşimine özgü konumlardan elde edilebilir, ancak bu noktalar yerleşim planında zamanla yapılacak değişikliklerle birlikte farklılık gösterebilir. En kritik veriler, önemli mühendislik jeolojisi birim sınırlarına kadar olan derinlik gibi, ilksel Jeolojik Modeli en iyi şekilde anlamayı sağlayacak noktalardan elde edilmelidir. Ancak, bütçeler sınırlı olduğundan ve tüm paydaşlar araştırma planlamasına dâhil olduğundan, araştırma noktalarının belirlenmesinde her zaman bir uzlaşma gerekecektir.
- Yüzey ve yeraltı gözlemleri ve testler yoluyla mühendislik jeolojisi birimlerinin ve koşullarının değerlendirilmesi, karakterizasyonu ve belgelenmesi.
- Kavramsallaştırma aşamasında belirtilen herhangi bir jeotehlikenin veya yer davranışına ilişkin tehlikelerin araştırılması ve nitelendirilmesi.
- Varlığı bilinen ancak karmaşıklığı nedeniyle detaylı olarak araştırılması pratik olmayan sorunlu mühendislik jeolojisi koşullarının değerlendirilmesi.
- Kavramsallaştırma sürecinde öngörülen ancak henüz gözlemlenmemiş ve bu nedenle inşaat sırasında beklenmedik bir şekilde karşılaşılabilecek halinde, bir iddianın temelini oluşturabilecek öngörülemez yer koşulları olarak değerlendirilebilecek herhangi bir sorunlu mühendislik jeolojisi koşuluna ilişkin kanıtların araştırılması.

Şekil 2-18, saha araştırmalarını planlamak ve yürütmek için MJM bilgi çerçevesinin kullanılmasına yönelik genel bir süreç diyagramı sunmaktadır.



Şekil 2-18 MJM bileşenleri ve saha araştırması (Baynes *vd.*, 2021'e göre).



Şekil 2-19 Klasik yaklaşımın güncel tasarım uygulamalarıyla karşılaştırılması (Carter 2015'e göre).

2.6.4 İnşaat yönetiminde MJM

Bir proje inşaat aşamasına geçtiğinde, sahada ortaya çıkan yer koşulları MJM tarafından öngörülen potansiyel değişkenliklerle karşılaştırılmalı ve bu farkların tasarım veya inşaat yöntemini etkileyip etkilemeyeceği, jeoteknik risk değerlendirmesinin güncellenip güncellenmemesi gerektiği de değerlendirilmelidir.

İnşaat süresince MJM, özellikle Gözlemsel Yöntem benimsendiğinde önemli bir rol oynar. Peck (1969) tarafından önerilen Gözlemsel Yöntem, gözlemsel modelden farklı olan ve esasen aşağıdaki adımları içeren bir tasarım ve inşaat metodolojisidir:

- MJM'den makul bir şekilde tahmin edilebilen çeşitli mühendislik jeolojisi koşulunun mühendislik etkilerini göz önünde bulundurun.
- En olası mühendislik jeolojisi koşullarını esas alarak tasarım yapın, ancak mümkün olan diğer koşullar için de uygun alternatifler tasarlayın ve sözleşmenin bu tür değişikliklere izin verdiğinden emin olun.
- İnşaat sırasında karşılaşılan mühendislik jeolojisi koşulları öngörülenden farklıysa, tasarımlar buna uygun şekilde revize edilmelidir. Bu durum, tasarım ekipleri, sahadaki mühendislik jeologları ve inşaat mühendisleri arasında çok yakın bir iş birliği gerektirir. Böylece, MJM tarafından öngörülen koşullardan sapmalar hızlıca değerlendirilip gerekli önlemler alınabilir.

2.7 KAYNAKLAR

AS1726. 2017. Australian Standard Geotechnical site investigations. Standards Australia, SAI Global, Sydney Australia, 75p.

Baynes, F. J., Fookes, P. G. & Kennedy, J. F. 2005. The total engineering geology approach applied to railways in the Pilbara, Western Australia. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 64, 67-94. <https://doi.org/10.1007/s10064-004-0271-4>

Baynes, F. J., Parry, S., & Novotny, J., 2021. Engineering geological models, projects, and geotechnical risk. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 54. <http://doi.org/10.1144/qjegh2020-080>.

Baynes, F. J. and Parry, S. 2022. Guidelines for the development and application of engineering geological models on projects. International Association for Engineering Geology and the Environment (IAEG) Commission 25 Publication No. 1, 129 pp.

BIM Forum 2019. Level of Development (LOD) Specification 2019, Part I & Commentary for Building Information Models and Data. <https://bimforum.org/wp-content/uploads/2019/04/LOD-Spec-2019-Part-I-and-Guide-2019-04-29.pdf>, Accessed 7 January 2020

Bock, H., Broch, E., Chartres, R., Gambin, M., Maertens, J., Maertens, L., Norbury, D., Pinto, P., Schubert, W. & Stille, H. 2004. The Joint European Working Group of the ISSMGE, ISRM and IAEG for the Definition of Professional Tasks, Responsibilities and Cooperation in Ground Engineering. In: Hack, R., Azzam, R. & Charlier, R. (eds), *Engineering geology for infrastructure planning in Europe*. Lecture Notes in Earth Sciences 104, Springer, Berlin, Heidelberg, 1–8, https://doi.org/10.1007/978-3-540-39918-6_1

Bond, C. E., Shipton, A. D, Gibbs, A. D. & Jones, S. 2008. Structural models: Optimizing risk analysis by understanding conceptual uncertainty. *First Break*, 26(6), 65-71. <https://doi.org/10.3997/1365-2397.2008006>

Carter, T. G. 1992. Prediction and uncertainties in geological engineering and rock mass characterization assessment. In: *Proceedings of the 4th Italian Rock Mechanics Conference*, Torino, 1.1–1.22

Carter, T. G. 2015. On increasing reliance on numerical modelling and synthetic data in rock engineering. In: *Proceedings of the 13th ISRM International Congress on Rock Mechanics*, Montreal, Canada. Paper 821, 17p. ISBN: 978-1-926872-25-4

Carter, T. G. & Marinos, V. 2020. Putting geological focus back into rock engineering design. *Rock Mechanics and Rock Engineering* 53(10): 4487–4508. <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02177-1>

Carter, T. G. & Barnett, W. P. 2021. Improving reliability of structural domaining for engineering projects. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 28p. <https://doi.org/10.1007/s00603-021-02544-6> Print ISSN: 0723-2632 Electronic ISSN: 1434-453X

Dematteis, A. & Soldo, L. 2015. The geological and geotechnical design model in tunnel design: estimation of its reliability through the R-Index. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, <https://doi.org/10.1080/17499518.2015.1104547> .

Davis, J. 2017. Crossrail's experience of Geotechnical Baseline Reports (GBRs). Crossrail Project: Infrastructure design and construction, 4, Published Online: August 21, 2017, © Thomas Telford Limited and Crossrail, <https://doi.org/10.1680/cpid.63594.323>

Dearman, W. R., Baynes, F. J. & Irfan, T. Y. 1978, Engineering grading of weathered granite. *Engineering Geology*, 12, 354-374. <https://doi.org/10.1007/BF02635355>

Fell, R., MacGregor, P., Stapledon, D., Bell, G., & Foster, M. 2015. *Geotechnical engineering of dams*. London, CRC Press. ISBN 9781138749344
<https://doi.org/10.1201/b17800>

FIDIC. 2019. Conditions of contract for underground works. Geneva, Fédération Internationale des Ingénieurs-Conseils (FIDIC). ISBN 9782884320870

Fookes, P. G. 1997. Geology for engineers: the geological model, prediction and performance. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 30(4): 293–424, <https://doi.org/10.1144/GSL.QJEG.1997.030.P4.02>,

Fookes, P. G., Baynes, F. J. & Hutchinson, J. N. 2000. Total geological history: a model approach to the anticipation, observation and understanding of site conditions. Invited Paper, Proceedings of GeoEng2000, an International Conference on Geotechnical & Geological Engineering, 19 – 24 November, Melbourne, Technomic Publishing Company Inc., Pennsylvania USA, 370–460.

Fookes, P. G., Pettifer, G. & Waltham, T. 2015. *Geomodels in engineering geology – an introduction*. Dunbeath, UK, Whittles. 208 pp ISBN978-184995-139-5

Giles, P. G., Griffiths, J. S., Evans, D. J. A. & Murton, J. B. 2017. Geomorphological framework: glacial and periglacial sediments, structures and landforms. In: Griffiths, J. S. & Martin, C. J. (eds.) *Engineering Geology of Glaciated and Periglaciated Terrains*. Geological Society Engineering Geology Special Publication, 28, 59-368. <https://doi.org/10.1144/EGSP28.3>

Griffiths, J. S., 2019. Advances in engineering geology in the UK 1950-2018. *Quarterly Journal of Engineering Geology & Hydrogeology*, 52, 401-413. <https://doi.org/10.1144/qjegh2018-171>

Haile, A. 2004. A reporting framework for geotechnical classification of mining projects. *AussIMM Bulletin*, September/October 2004: 30-37.

Hoek, E. & Brown, E. T. 2019. The Hoek–Brown failure criterion and GSI – 2018 edition. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 11(3), June 2019, 445-463. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.08.001>

Kessler, H., Wood, B., Morin, G., Gakis, A., McArdle, G., Dabson, O., Fitzgerald, R. & Dearden, R. 2015. Building Information Modelling (BIM) – a route for geological models to have real world impact. In: MacCormack, K., Thorleifson, H., Berg, R. & Russell, H. (eds). Three-dimensional geological mapping: workshop extended abstracts. Geological Society of America Annual Meeting, Baltimore, Maryland, October 31, 2015; Alberta Energy Regulator, AER/AGS Special Report 101, 13–18.

Knill, J. L. 2003. Core values: the First Hans Cloos Lecture. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 62(1), 1–34, <https://doi.org/10.1007/s10064-002-0187-9>

Moon, A. T., Wilson, R. A. & Flentje, P. N. 2005. Developing and using landslide frequency models. In: Hungr, H., Fell, R., Couture, R. & Eberhardt, E. (eds), *Proceedings of the International Conference on Landslide Risk Management*, Vancouver. A. A. Balkema, Lieden. 681-690.

Morgenstern, N. R. & Cruden, D. M. 1977. Description and classification of geotechnical complexities: International Symposium on the Geotechnics of Structurally Complex Formations. Italian Geotechnical Society, 2, 195–204.

Norbury, D. 2020. Ground models; a brief overview. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 54, <https://doi.org/10.1144/qjegh2020-018>

Parry, S., Baynes, F. J., Culshaw, M. G., Eggers, M., Keaton, J. F., Lentfer, K., Novotny, J. & Paul, D. 2014. Engineering geological models – an introduction: IAEG Commission 25. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73(3), 689–706. <https://doi.org/10.1007/s10064-014-0576-x>

Paul, D. R. 2018. A simple method of estimating ground model reliability for linear infrastructure projects. IAEG/AEG Annual Meeting Proceedings, San Francisco, California, 2018 – Volume 2, Shakoor, A. & Cato, K. (eds.) https://doi.org/10.1007/978-3-319-93127-2_2

Peck, R. B. 1969. Ninth Rankine Lecture: advantages and limitations of the observational method in applied soil mechanics. *Géotechnique*, 19, 171 – 187.

Perello, P., Venturini, G., Dematteis, A., Bianchi, G., Delle Piane, L. & Damiano, A. 2005. Determination of reliability in geological forecasting for linear underground structures the method of the R-Index. *Geoline 2005*. Lyon (FR). 1–8.

Price, N. J. & Cosgrove, J. W. 1990. *Analysis of geological structures*, University Press, Cambridge, UK.

Shilston, D. T., Teeuw, R. M., West, G. & Engineering Group Working Party. 2012. Desk study, remote sensing, geographical information systems and field evaluation. Geological Society, London, *Engineering Geology Special Publication*, 25, 159–200. <https://doi.org/10.1144/EGSP25.06>

Ting, C., Gilson, G. & Black, M. 2020. Developing the 3D geological model for Crossrail 2, London, UK. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 54, <https://doi.org/10.1144/qjegh2020-029>

Turner, A. K., Kessler, H. & van der Meulen, M. J. (eds). 2021. Applied multidimensional geological modelling: informing sustainable human interactions with the shallow subsurface. London, Wiley, 450p, ISBN: 978-1-119-16312-1

Vanmarcke, E. H. 1984. Random fields, analysis and synthesis. Cambridge (USA): MIT Press.

Venturini, G., Bianchi, G. W. & Diederichs, M. 2019. How to quantify the reliability of a geological and geotechnical reference model in underground projects. Society for Mining, Metallurgy & Exploration. 525-537.

Vessia, G., Di Curzio, D. & Castrignanò, A. 2020. Modeling 3D soil lithotypes variability through geostatistical data fusion of CPT parameters. Science of The Total Environment, Volume 6981, Article 134340.

Zaruba, Q. & Mencl, V. 1954. Engineering geology. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 428p. (in Czech)

EK A – KATKIDA BULUNANLAR

Görev	Kişi	Ülke
Baş Yazar	Fred Baynes	Avustralya
Baş Yazar	Steve Parry	UK
Baş Editör	Martin Culshaw	UK
Baş Editör	Jim Griffiths	UK
IAEG Editörü	Yogendra Deva	Hindistan
IAEG Editörü	Antonio Dematteis	İtalya
IAEG Editörü	Erik Wunder	Brezilya
IAEG Editörü	Jorge Bejerman	Arjantin
IAEG Editörü	Jia-Jyun Dong	Tayvan
IAEG Editörü	Bill Haneberg	ABD
IAEG Editörü	Doug Stead	Kanada
IAEG Editörü	Ann Williams	Yeni Zelanda
IAEG Editörü	Anthony Bowden	Avustralya
Katkı Koyanlar	Fred Baynes	Avustralya
	Richard Brehaut	Avustralya
	Roberto Cravero	Arjantin
	Martin Culshaw	UK
	Dafydd Chandler	UK
	Antonio Dematteis	İtalya
	Yogendra Deva	Hindistan
	Jia-Jyun Dong	Tayvan
	Mark Eggers	Avustralya
	Peter Fair	UK
	Robin Fell	Avustralya
	Phil Flentje	Avustralya
	Martin Griffin	UK
	Andrew Forsythe	Singapur
	Jim Griffiths	UK
	Nizam Hasan	Malezya
	Chris Jack	UK
	Graeme Jardine	Avustralya
	Stratis Karantanellis	Yunanistan
	Aliki Kokkala	Yunanistan
	Teemu Lindqvist	Finlandiya
	Robert MacKean	UK
	Vassilis Marinos	Yunanistan
	Stuart Millis	Hong Kong
	Tim Nash	Avustralya
	Judith Nathanail	UK
	Paul Nathanail	UK
	Simon Nelis	Yeni Zelanda
	Jan Novotny	Çek Cumhuriyeti

	Steve	Parry	UK
	Darren	Paul	Avustralya
	Alistair	Schofield	Avustralya
	David	Shilston	UK
	Ian	Shipway	Avustralya
	Keith	Turner	ABD
	David	Waring	UK
	Felicia	Weir	Avustralya
	Ann	Williams	Yeni Zelanda
	Eric	Wunder	Brezilya
Bölüm 3'e katkıda bulunan BECA çalışanları	Ann	Williams	Yeni Zelanda
	Joe	Cant	Yeni Zelanda
	David	Dobson	Yeni Zelanda
	Christoph	Kraus	Yeni Zelanda
	Alicia	Newton	Yeni Zelanda
Bölüm 4'e katkıda bulunan IAEG C28 üyeleri	Antonio	Dematteis	İtalya
	Wayne	Barnett	Kanada
	Trevor	Carter	Kanada
	Diego	Dicurzio	İtalya
	Giovanna	Vessia	İtalya