



Güneydoğu Türkiye’deki Paleozoyik İstiflerinin Sekans Stratigrafisi, Sedimentolojisi ve Hidrokarbon Potansiyeli
Sequence Stratigraphy, Sedimentology and Hydrocarbon Potentials of the Paleozoic Successions in Southeast Turkey

Muhittin Şenalp¹, Sema Tetiker^{2*}, Murat Şentürk³

¹*Saudi Aramco (Retired Sr. Geological Consultant), Saudi Arabia*

²*Batman Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü*

³*Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta*

• Geliş/Received: 08.02.2020 • Düzeltmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 08.04.2020 • Kabul/Accepted: 26.06.2020
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 17.01.2021 • Baskı/Printed: 30.04.2021

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Bu çalışmada sekans stratigrafisinin tüm kurallarının eksiksiz bir şekilde uygulanması, farklı jeolojik işlemlerle oluşan aşınma ve transgresyon yüzeylerinin özelliklerinin anlaşılması sonucu Gondwana Kıtası'nın kuzeyini oluşturan Güneydoğu Türkiye'nin stratigrafik istifleri, hidrokarbon yönünden zengin Suudi Arabistan'ın aynı yaş aralığındaki istifleri ile kolayca ilişkilendirilmiştir. Bu çalışmalar sonunda yeni formasyonlar ve üyeler tanımlanmış, tektonik veya buzul kökenli aşınma yüzeyleri yardımıyla bazı formasyonların sınırları değiştirilmiştir. Neoproterozoyik kristalin temel (Telbesmi Formasyonu) ile Erken Ordovisiyen (Konur Formasyonu) arasında uzanan stratigrafik istif Derik İlçesi'nin yakınındaki Zabuk Vadisi boyunca kesintisiz olarak temsil edilmiştir. Orta-Geç Ordovisiyen yaşlı stratigrafik istif Kızıltepe İlçesinin batısındaki Bedinan (Gürmeşe) ile Yurteri köyleri arasında tüm açıklığı ile korunmuştur. Erken Siluriyen (Dadaş Formasyonu) ile Geç Permiyen-Erken Triyas (Gomanibrik Formasyonu) arasında uzanan stratigrafik istif Hazro ilçesinin kuzeybatısında temsil edilmiştir. Yukarıda sayılan bölgelerde çok sayıda stratigrafik ve sedimentolojik kesit ölçülmüş yaş tayinleri için denizel şeyl fasiyeslerinden, rezervuar potansiyellerini ortaya çıkarmak için kumtaşlarından örnekler alınmıştır. Orta Kambriyen yaşlı stromatolitik algli kireçtaşları (Koruk Formasyonu) potansiyel kaynak kaya ve rezervuar kaya olma özelliklerine sahiptir. Erken Ordovisiyen yaşlı Konur Formasyonu'nun deltayik kumtaşları yeni bir hazne kaya potansiyeli oluşturur. Bedinan Formasyonu'nu derince kazan buzul kökenli Yurteri Formasyonunun buzul-fluviyal kumtaşlarından bu bölgede ve Gondwana kıtası üzerindeki tüm ülkelerde önemli miktarlarda petrol ve gaz üretimi yapılmaktadır. Siluriyen yaşlı Dadaş Formasyonu'nun tabanındaki organik maddece zengin şeyller tüm Paleozoyik istifleri için verimli bir kaynak kaya oluşturur. Geç Siluriyen yaşlı Hazro Kumtaşından uzun süredir petrol üretimi yapılmaktadır. Yeni açılacak arama kuyularının lokasyonlarının sağlıklı bir şekilde tespit edilebilmesi için hidrokarbon potansiyeline sahip tüm formasyonların çökelme ortamları göz önünde bulundurularak, onların kaynak ve rezervuar kayaları için fasiyes ve izopak haritalarının hazırlanması ve özellikle, kaynak kayasında oluşan hidrokarbonların potansiyel rezervuar fasiyesine olan göç yollarının belirlenmesi arama ve üretimden sorumlu jeoloğun en önemli görevlerindedir.

Anahtar Kelimeler: Gondwana buzullaşma dönemleri, hidrokarbon potansiyeli, kaynak kaya, örtü kaya, Paleozoyik istifleri, rezervuar kaya.

Abstract: The hydrocarbon potentials of the carbonates and siliciclastic rocks forming the continuous Paleozoic successions in Southeast Turkey are well understood. In this study, every aspect of the sequence stratigraphy was investigated and the erosional unconformity surfaces of different origin and transgressive surfaces were defined.

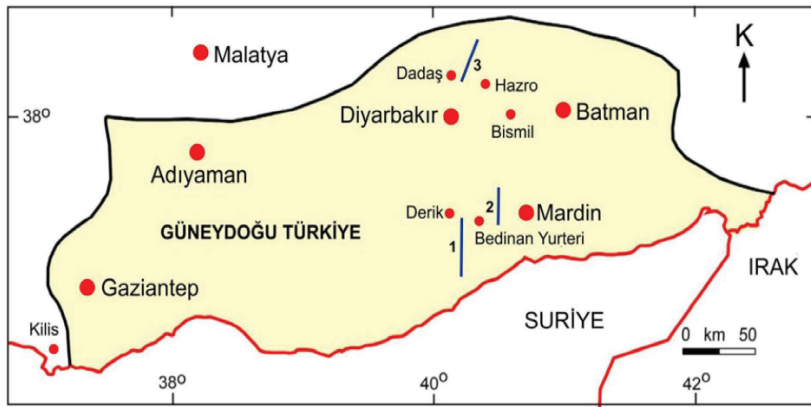
In this way, the Paleozoic successions of Southeast Turkey were correlated with the hydrocarbon-producing Paleozoic successions of Saudi Arabia. Based on fieldwork, new formations and members were defined and formation boundaries were slightly modified. The stratigraphic sequence extending between the Neoproterozoic igneous basement (Telbesmi Formation) and the Early Ordovician (Konur Formation) is best represented along Zabuk Valley (Derik town). Middle-Late Ordovician successions are exposed between Bedinan (Gürmeşe) and Yurteri villages, west of Kızıltepe town. The stratigraphic sequence between the Early Silurian (Dadaş Formation) and Late Permian-Early Triassic (Gomanibrik Formation) is represented northwest of Hazro town. In these areas, many stratigraphic and sedimentologic sections were measured, and shale and sandstone samples were collected for palynological and petrographic examination to evaluate their reservoir quality. The outcrops and subsurface indicated that the thick Middle Cambrian stromatolitic algal limestone (Koruk Formation) has both source rock and reservoir rock potentials. The glaciogenic Yurteri Formation has deeply incised into the Bedinan Formation. The well-sorted and porous glaciofluvial sandstones produce oil and gas in southeast Turkey and other countries located on the Gondwana continent. The organic rich shale deposited at the base of the Silurian Dadaş Formation forms a very productive source rock for the entire Paleozoic successions. Crude oil has been produced from the Late Silurian Hazro sandstone. In order to locate exploration wells in the right place, depositional environment models of all the formations, their lithofacies, isopach maps and hydrocarbon migration pathways were prepared. This is crucial for geological exploration and oil and gas production.

Keywords: Cap rock, Gondwana glaciation, hydrocarbon potentials, source rock, Paleozoic successions, reservoir rock.

GİRİŞ

Güneydoğu Türkiye’de temsil edilen kalın ve eksiksiz Paleozoyik yaşlı formasyonlar, geniş Gondwana Kıtası’nın kuzeybatı köşesi üzerinde çökelmiş sedimanter istiflerin ayrılmaz bir parçasını oluşturur. Arap ve Afrika platformları üzerinde yer alan Suudi Arabistan, Libya, Irak, Ürdün, Suriye ve Güneydoğu Türkiye gibi çok sayıda ülkelerde yüzeylenen Erken Kambriyen’den (541 MYÖ) Geç Permiyen’e (260,4 MYÖ) kadar eksiksiz olarak temsil edilmiş Paleozoyik istifleri içinde bulunan karasal ve denizel ortamlarda çökelmiş kumtaşı ve karbonat rezervuarlarından önemli miktarlarda petrol ve gaz üretilmeye başlanması bu istiflerin önemini son derece artırmıştır. Bu amaca yönelik çalışmalar, özellikle tüm Suudi Arabistan ve Güneydoğu Türkiye’de temsil edilen Neoproterozoyik kristalin kayalar ve Paleozoyik yaşlı sedimanter istiflerin yüzey mostraları ve bu bölgelerde açılmış arama ve üretim kuyuları üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Arazideki stratigrafik ve sedimantolojik çalışmalar, Mardin (Derik, Bedinan, Yurteri ve Konur köyü ve Şıp deresi),

Diyarbakır (Hazro, Dadaş, Gomanibrik ve Kuşdamı köyü) ve Adıyaman (Kâhta, Tut ve Kaplan deresi) bölgelerindeki istifler üzerinde yapılmıştır (Şekil 1). Yüzeyde görülen tüm istiflerden 1,5 m uzunluğundaki Jakop çubuğu kullanılarak ve sekans stratigrafinin tüm kurallarını uygulayarak ayrıntılı sedimantolojik kesitler ölçülmüş ve çok sayıda örnekler toplanmıştır. Bu çalışmalar sırasında istif içerisinde yer alan tektonik ve buzul kökenli bölgesel aşınma yüzeyleri, bölgesel ve yerel transgresyon yüzeyleri tespit edilmiş ve bu yöntemin, uygulanmasıyla aşınma olaylarının neden olduğu stratigrafik kesiklikler ve formasyonların çökme ortamları ve formasyonlar arasındaki yanal kalınlık ve fasiyes değişimleri daha kolayca ve daha güvenli bir şekilde anlaşılmıştır. Bu stratigrafik kesit ölçme yöntemi, bu yayının birinci yazarı tarafından Suudi Arabistan’ın Paleozoyik istiflerinde de uygulandığı için Gondwana kıtası üzerinde yer alan iki ülkenin istifleri arasındaki korelasyon bilinçli olarak yapılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanlarının lokasyon haritası ve ölçülmüş kesitlerin yerleri.

Figure 1. Location map of the studied areas and measured sections.

Suudi Arabistan ve Güneydoğu Türkiye'deki yeraltı stratigrafik ve sedimantolojik çalışmalar Paleozoyik'e kadar inen tüm kuyulardan elde edilen karot ve loglar üzerinde yapılmış ve yüzeyde tespit edilen formasyonlar ve bu birimlerin arasındaki dokunak ilişkileri paleontolojik ve palinolojik verilerin yardımıyla loglar üzerinde de tanınmaya çalışılmıştır. Kuyular arasındaki korelasyonlarda tektonik ve buzul kökenli aşınma yüzeyleri, bölgesel ve yerel transgresyon yüzeyleri kullanılmış ve böylece hidrokarbon karbon aramaları için hayati önem gösteren kaynak kaya ve rezervuar kaya fasiyeslerinin özellikleri ve ortaya çıkan hidrokarbonların göç yolları anlaşılmasına çalışılmıştır. Bu amaca yönelik olarak, aşınma yüzeylerinin yapı kontur haritaları kaynak kaya ve rezervuar kaya fasiyeslerinin eşit kalınlık (izopak) haritaları, daha sağlıklı olmaları düşüncesiyle el yöntemiyle çizilmiştir. Bu şekillere gizlilik nedeniyle bu yayında yer verilmemiş fakat elde edilen veriler eksiksiz olarak kullanılmıştır.

STRATİGRAFİ BİRİMLERİ

Güneydoğu Türkiye'de Neoproterozoyik ile Geç Permiyen yaşları arasında temsil edilen stratigrafik istifler Mardin, Diyarbakir, Batman ve Adiyaman bölgelerinde çalışılmış olup bu istifi oluşturan formasyonlar yaş sırasına göre aşağıdaki

bölgelerde tanıtılmaya çalışılmıştır (Şekil 2 ve 3).

Telbesmi Formasyonu (Neoproterozoyik, 630-541 MYÖ)

Arap-Nubiyan Kalkanı'nın kuzey yöndeki bir devamı olan Geç Neoproterozoyik yaşlı Telbesmi Formasyonu Mardin-Derik ilçesinin 3-5 km güneyindeki Telbesmi (Tepebağ) köyü ve Tut (Adiyaman) ilçesinin Penbeğli köyü Kaplan Dere vadisinin tabanında yüzeylemeler vermektedir. Bu formasyon Derik bölgesinde, başlıca farklı bileşimlerdeki volkanik ve magmatik kayalardan oluşmaktadır (Moses, 1936; Ketin, 1966). Prekambriyen'de bölgenin kriatalin temelini oluşturduğu varsayılan, Telbesmi Formasyonu, farklı bileşimlerdeki volkanik ve magmatik kayalardan yapılmıştır. En yaygın olarak aglomera, bazalt (egemen olarak spilitik bazalt), ojit-andezit ve riylit daykları ile temsil edilmektedir (Siyako vd., 2015; Nayiroğlu, 2019). Mardin Grubu Kretase yaşlı karbonat istifi açısıl bir uyumsuzlukla Telbesmi Formasyonu'nun aglomeraları üzerine oturur (Şekil 4a ve b). Oldukça faylı ve tümüyle karmaşık istif içerisinde beyaz renkli ve çok yaşlı olduğu anlaşılan kristalin kireçtaşı mostraları bulunur. Bu kireçtaşının blokları, Sadan Formasyonu'nun alt kısımlarında yer alan konglomeralar içine taşınıp moloz

akıntılarıyla çökeltmiştir. Telbesmi Formasyonu içinde görülen bu kireçtaşlarının Marinoan buzullaşması sonunda çökelen örtü karbonatlarının bir parçası olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Penbeği Köyü'nün civarındaki Kaplan Deresinde tanımlanmış Meryemuşağı Formasyonu'nda ise bu volkanik kayalarla birlikte önemli miktarda ortoklaz yönünden zengin kırmızı renkli büyük

granit blokları bulunmaktadır. Erken Kambriyen (541 MYÖ) yaşlı sedimanter bir istif olan Sadan Formasyonu, kristalin temeli temsil eden Telbesmi Formasyonu'nun üzerine uyumsuzlukla gelmektedir. Bu kristalin temel, Telbesmi Formasyonu'nun tektonik yükselimi sonucu faylanmış (Ketin, 1966; Siyako vd., 2015; Şenalp vd., 2018).

STRATİGRAFI		KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	LİTOLOJİK TANIMLAMA VE ÇÖKELME ORTAMLARI	İSTİF STRATİGRAFİSİ
YAŞ	BİRİM				
SİLÜRİYEN	DADAŞ FM			Koyu gri- siyah renkli organik maddece zengin kaynak kaya şeyli	
ORDOVİSİYEN	YURTERİ FM			Tabanı buzul vadileri ile derince kazılmış, çakıllı kumtaşları ile doldurulmuş buzul fasiyesi istifi. Kuvars ve çört çakılları cıalanmış ve çizilmiştir.	MDS S10 (260 MYÖ)
	BEDİNAN FM			Siğ deniz ortamında çökelmiş, koyu gri mikalı şeyli, kahverenkli ince tabakalı, fosilli, tümseklî-çapraz tabakalanmalı, dalga kırışıklı, kumtaşı ardalanması. Açık deniz-kıyı yüzü plaj ortamı.	Buzul-Kökenli Aşınma ve Uyumsuzluk Yüzeyi
	KONUR FM			Siğ deniz ortamında çökelmiş, şeyli, milttaşı ve kumtaşı ardalanması sonucu gelişen, üste doğru kalınlaşan paraistifler. Kanal dolgularının sayısı, kalınlığı ve içindeki kumtaşlarının taneboyu üste doğru artar. Potansiyel rezervuar fasiyesi	Bölgesel Transgresyon (470 MYÖ)
KAMBRIYEN	SOSİNK FM			Şeyli, milttaşı ve kumtaşı ardalanması sonucu oluşan ve üste- doğru incelen, üste- doğru kalınlaşan para-istifler. Oygu-dolgu yapıları çok yaygındır. Denize doğru ilerleyen dalga-egemen delta istifi tarafından çökeltilmiştir.	
	KORUK FM			Kalın karbonat istifi. İstifin sadece en üst kısmı açık deniz şeylleri ve kumtaşları ile aratabakalıdır. İstifin alt ve orta kısımları kahve renkli, kalın tabakalı, küçük tepeler şeklinde algal dolomitik kireçtaşı fasiyesler içerir.	MDS S10 (260 MYÖ) MDS Ca20 (509 MYÖ) mfs Ca20 (514 MYÖ) mfs Ca20 (516 MYÖ)
	ZABUK FM			Kumtaşı, çamurtaşı, milttaşı ve kilttaşından yapılmış istif. Alt kısmı örgülü nehir ortamında çökelmiş, çapraz-tabakalı kumtaşlarıdır. Orta kısmı, menderesli ortamın nokta barları içinde çökelmiş kumtaşları ve taşkın ovası çamurtaşlarıdır. İstifin üzerine gel-git düzlüğü ortamında çökelmiş kumtaşı ve çamurtaşı istifleri gelir. İstifin üzerine, deniz kıyısı ortamında çökelmiş eoliyen kumtaşları gelir. Tüm Zarqa Formasyonu deniz seviyesinin yükselmesi sonucu ortaya çıkan transgresif bir çökeltme modelini temsil eder.	MDS Ca15 (521 MYÖ)
	SADAN FM			Siğ deniz ortamında çökelmiş algli stromatolitik kireçtaşları	Tip-1 İstif Sınırı
				Nokta barı kumtaşı ve çamurtaşı fasiyesi	MDS Ca10 (540 MYÖ)
NEOPROTEROZOYİK	TELBESMİ FM			Kristalin temel kayaları, dayklar ve örtü karbonat kayacı blokları	Uyumsuzluk Yüzeyi (541 MYÖ)

Şekil 2. Erken Paleozoyik yaşlı formasyonların Zabuk Vadisi (Derik İlçesi) boyunca ve Bedinan (Gürmeşe) köyü çevresinde ölçülen kesitteki stratigrafik ve sedimentolojik özellikleri (Şenalp vd., 2018).

Figure 2. Stratigraphy and sedimentology of the Early Paleozoic formations, measured along the Zabuk Valley (Derik town) and around Bedinan (Gürmeşe) villages (Şenalp et al., 2018).

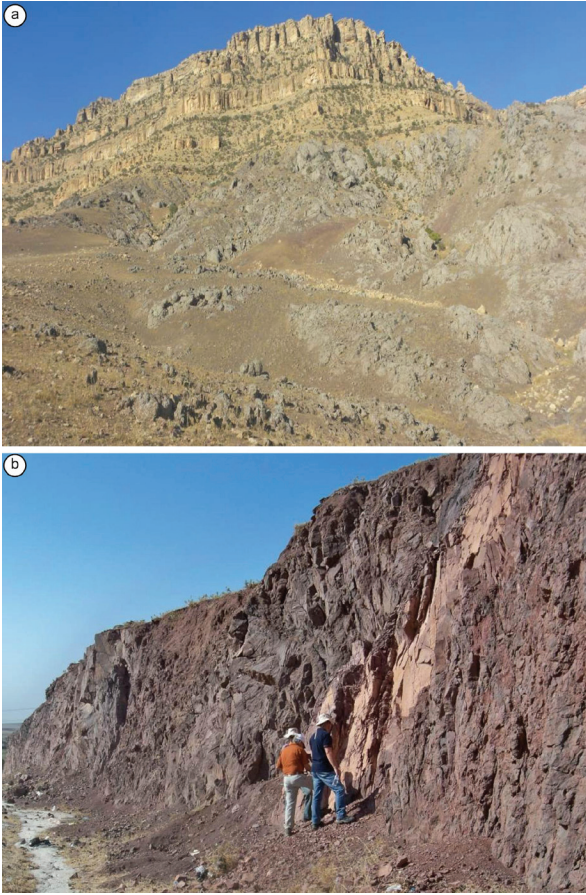
STRATİGRAFI		KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	LİTOLOJİK TANIMLAMA VE ÇÖKELME ORTAMLARI	İSTİF STRATİGRAFİSİ
YAŞ	BİRİM				
	GOMANİBRİK FM				
PERMİYEN	KAŞ FM			Aratabakalı şeyl, kömürlü şeyl, kömür seviyeleri ve derince kazılmış halic vadileri ile doldurulmuş rezervuar kumtaşları	MDS P20 (260 MYÖ)
	KUŞDAMI FM			Kırmızı renkli, masif, kumlu çamurtaşı. Yeraltında evaporitler içerir. Karasal playa ortamında çökelmiştir.	Kaş-Öncesi Uyumsuzluk Yüzeyi (269 MYÖ)
DEVONİYEN	KAYAYOLU FORMASYONU			Aratabakalı kireçtaşı, dolomit, algal dolomit, şeyl ve ince-çok ince taneli, tümsekli çapraz tabakalı kumtaşı istifi. Sığ Deniz	Birleşmiş (Hersiniyen ve Kuşdamı-Öncesi) Uyumsuzluk Yüzeyleri
SİLÜRİYEN	DADAŞ FORMASYONU			Gri renkli, masif şeyl üste doğru şeyl, miltası ve dalga-kırıksıklı kumtaşı fasiyesine geçer.	Kaledoniyen Uyumsuzluk Yüzeyi
				Açık yeşil renkli masif- laminalanmış şeyl miştası ve tümsekli- çapraz tabakalanmalı, dalga- kırışıklı kumtaşı Masif dolomitik kireçtaşı ve ara-tabakalı fosilli kireçtaşı ve şeyl. Koyu gri- siyah renkli organik maddece zengin kaynak kaya şeyli	
ORDOVİSİYEN	YURTERİ FM			Tabanı buzul vadileri ile derince kazılmış, çakıllı kumtaşları ile doldurulmuş buzul fasiyesi istifi. Kuvars ve çört çakılları cilalanmış ve çizilmiştir.	MDS S10 (260 MYÖ)
	BEDINAN FORMASYONU			Sığ deniz ortamında çökelmiş, koyu gri mikalı şeyl, kahverenkli ince tabakalı, fosilli, tümsekli-çapraz tabakalanmalı, dalga kırışıklı, kumtaşı araldanması. Açık deniz-kıyı yüzü plaj ortamı.	Buzul-Kökenli Aşınma ve Uyumsuzluk Yüzeyi

Şekil 3. Geç Paleozoyik yaşlı formasyonların Zabuk Vadisi (Derik İlçesi) boyunca ve Bedinan (Gürmeşe), Dadaş (Hazro ilçesi) çevresinde ölçülen kesitteki stratigrafik ve sedimantolojik özellikleri (Şenalp vd., 2018).

Figure 3. Stratigraphy and sedimentology of the Early Paleozoic formation, measured around Bedinan (Gürmeşe) and Dadaş villages (Şenalp et al., 2018).

Mardin-Derik ilçesi ve Adıyaman'ın Kaplan Deresi vadisi boyunca mostralara veren Neoproterozoyik yaşlı Telbesmi Formasyonu Arap-Nubiyan Kalkanı'nın kuzey yönündeki uzantısını oluşturmaktadır. Bu nedenle Telbesmi Formasyonunun bileşimi, içyapısı ve tektonik gelişimi ilişkili bulunduğu tüm Neoproterozoyik kristalin temel karmaşığı ile aynı özellikleri göstermekle birlikte, önemli miktarda altın ve gümüş gibi kıymetli metaller içeren bu kayalar Suudi Arabistan'da ayrıntılı olarak incelenmiştir. Elde edilen bu değerli bilgiler nispeten daha az bilinen Telbesmi Formasyonu'nun anlaşılması yönünde olumlu katkılar sağlayacağını umuyoruz.

Arap-Nubiyan Kalkanı, Kızıldeniz'in her iki kanadı üzerinde yüzeye çıkmış ve geniş alanlar kaplayan Prekambriyen yaşlı kristalin kayalardan yapılmış ve coğrafi olarak, kuzeyden güneye doğru, Güneydoğu Türkiye, İsrail, Ürdün, Mısır, Suudi Arabistan, Sudan, Eritre, Habeşistan, Yemen ve Sudan gibi ülkeleri içine alan en eski bir temeldir (Şekil 5). Suudi Arabistan'ın batısında Yemen'den kuzeyde Sina Yarımadası ve Ürdün'e kadar uzanan kesiksiz yüksek dağ silsileleri oluşturan bu kristalin temel ve içindeki kayalar tüm açıklığı ile yüzeyde görülmektedir (Şekil 6a ve b).



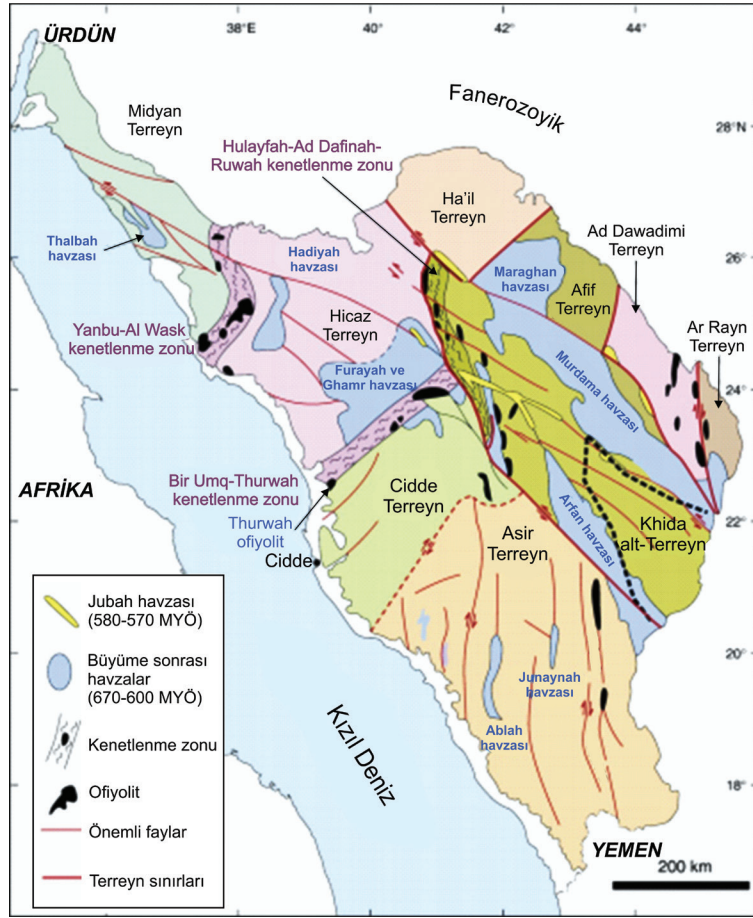
Şekil 4. a) Derik İlçesi girişinde görülen Neoproterozoyik yaşlı Telbesmi Formasyonu ve üzerine gelen Kretase yaşlı Mardin Grubu karbonatları. **b)** Telbesmi (Tepebağ) Köyü ile Derik Kazası arasındaki ana yol üzerinde mostra veren ekaylanmış ve parçalanmış volkanik kayalar ve riyolit daykı (Şenalp vd., 2018).

Figure 4. a) Neoproterozoic Telbesmi Formation and the unconformably overlying Upper Cretaceous carbonates of the Mardin Group, exposed near Derik town. **b)** Faulted and fractured volcanic rocks and rhyolite dikes in the Neoproterozoic Telbesmi Formation exposed near Tepebağ village and Derik highway (Şenalp et al., 2018).

Güneydoğu Türkiye, Suudi Arabistan ve kuzey Afrika ülkelerinden başka bölgelerden bu Neoproterozoyik yaşlı kabuk Paleozoyik ve daha genç istiflerle örtüldüğü için bu kayalara ulaşabilmek ancak jeofizik ve bilimsel amaçlı

yapılan sondajlardan alınan örneklerle mümkün olmaktadır (Nehlig vd., 2002; Johnson ve Kattan, 2001). Bu veriler ışığında, Arap-Nubiyan Kalkanı'nın yüzey mostraları üstünde görülen ve yeraltında jeofizik yöntemler sonucu toplam genişliğinin 2.725.000 km² olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca Jeofizik çalışmalar, Arap-Nubiyan Kalkanı'nın kabuk kalınlığının yaklaşık 40-45 km olduğunu ve bu nedenle de onun önemli bir kıta kabuğu olduğu hakkında hiçbir kuşku bulunmadığını göstermektedir. Adıyaman'ın Kaplan Deresi vadisi boyunca mostralar veren Neoproterozoyik yaşlı Telbesmi Formasyonu içinde büyük, ortoklas yönünden zengin pembe renkli granit kütlelerinin bulunması bu görüşü doğrulamaktadır (Şenalp vd., 2018).

Arap-Nubiyan Kalkanı, oluşumu Neoproterozoyik'de oldukça kısa bir zaman süresi içinde (yaklaşık 900 ile 550 milyon yıl arasında) okyanuslar içindeki ada yaylarının ofiyolitlerle sınırlandırılmış çok sayıdaki terreynlerin (tektonik birliklerin) yan yana gelerek kenetlenme (suturing) ve eklenme zonları boyunca büyümeleri suretiyle oluşmuşlardır (Johnson, 1996, 2003; Johnson vd., 1999, 2004; Johnson ve Kattan, 1999, 2001, 2012). En son kenetlenme olayı 732-540 milyon yıl önce gerçekleşmiş ve bu kenetlenme olayları sonucunda tektonostratigrafik olarak geniş ölçekli terreyn (tektonik birlikler) oluşumuyla sonuçlanmıştır (Stern, 1994; Bakor vd., 1976; Gass, 1981; Bentor, 1985; Kröner, 1985; Stoeser ve Camp, 1985; Vail, 1985; Pallister vd., 1988; Quick, 1991; Al-Saleh vd., 1998; Johnson, 1996). Bu alanlar önemli kenetlenme zonları veya kuzeybatı-yönlü önemli faylarla birbirlerinden ayrılmışlardır (Şekil 5). Kenetlenme zonları çoğunlukla kuzey ve kuzeydoğu yönlü serpantinleşmiş ultramafik kayaç (ofiyolitler ve tektonik dilimler) dizileri tarafından birbirinden ayrılmışlardır (Kröner, 1985; Kröner vd., 1992; Stoeser ve Camp, 1985; Johnson, 1996; Stern vd., 2004; 2006; 2011).



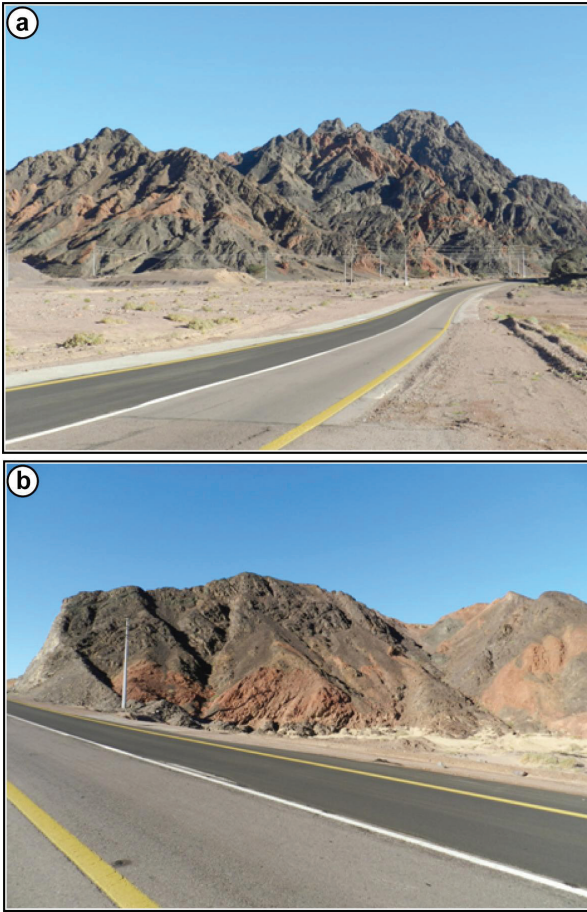
Şekil 5. Arap Kalkanı'nın Proterozoyik temelini oluşturan önemli tektono-stratigrafik terreyneri, terreyn sınırlarını, ofiyolitik kuşakları, kenetlenme ve önemli fay zonlarını ve büyüme sonrası Arabistan'ın batı kısmında ortaya çıkan molas havzalarının basitleştirilmiş haritası (Nehlig vd., 2002).

Figure 5. Simplified map of the Proterozoic Basement (Arabian Shield), showing distribution of the major tectonostratigraphic terranes, terrane boundaries, ophiolite belts, sutures and major fault zones, and post-accretionary molasse basins occupying the western part of Saudi Arabia (after Nehlig et al., 2002)

Terreyin Analizi: Arap Kalkanı'nı temsil eden okyanusal ve kıtasal-okyanusal kökenli iki tektonostratigrafik bölümü, bölgenin en temel tektonik özelliklerinden olup bu bölümler kalkanın üzerinde farklı tektonik olaylar sonucu türeyen terreyinlerin birleşip bütünleşerek oluştuğunu göstermektedir. İki veya daha fazla sayıdaki terreyinlerin birleşip kenetlenmeleri, günümüzde orojenik kuşakların analizlerinde günümüzde en yaygın kullanılan ve en önemli kavramdır. Suudi Arabistan'da Arap Kalkanı'nın jeolojik yapısı, terreyinler ve bunları birbirinden ayıran kenetlenme

zonları Şekil 5 de gösterilmiştir. Oluşumları çok ayrıntılı olarak çalışılıp tespit edilen terreyinler kuzeyden güneye doğru; (1) Midyan Terreyini, (2) Ha'il Terreyini, (3) Afif Terreyini, (4) Ad Dawadimi Terreyini, (5) Hijaz Terreyini, (6) Ar Rayn Terreyini, (7) Jiddah Terreyini, (8) Asir Terreyini ve (9) Khida Terreyini olarak tanımlanmıştır (Şekil 4). Bu terreyinleri birleştiren ve ofiyolitik kayaçlar içeren en önemli kenetlenme zonları ise yukarıdan aşağı; (1) Yanbu-Al Wask Kenetlenme Zonu, (2) Bir Umq Thurwah Kenetlenme Zonu, (3) Al Amar Fay Zonu olarak adlandırılmıştır (Ai-Husseini,

1989; Johnson, 1996; Nehlig vd., 2002; Stern ve Johnson, 2010). Bu terreyinler, jeolojik harita alımı, yapısal, tektonik, jeokimyasal çalışmalar ve içerdikleri ofiyolitik ve granitik kayalar üzerindeki jeokronolojik yaş tayinleri ayrıntılı olarak yürütülmüştür ve böylece Arap Kalkanı'nın yapısal ve jeolojik evrimi ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.



Şekil 6. a) Neoproterozoyik yaşlı Arap Kalkanı Midyan Havzası içinde yer alan Al-Bad'-Magna karayolunun her iki tarafında tüm açıklığı ile görülebilir. Magna, Akabe Körfezi'nin kıyısında yer alan bir sahil şehridir. **b)** Neoproterozoyik kristalin temel (635-541 MYÖ) Kızıl Deniz'in kuzeybatı kanadı boyunca 1,800 km uzanır. Kristalin temel başlıca ultramafik, metavolkanik, metasedimanter ve granitik plütönlardan yapılmış olup bu karmaşık çok çeşitli bazaltik, riyolitik ve doloritik dayklarla kesilmiştir (Şenalp, 2016)

Figure 6. a) The Neoproterozoic Arabian Shield is best seen exposed on both sides of the Al-Bad'-Magna highway in the Midyan Area. Magna is a town located on the south coast of the Gulf of Aqaba. **b)** These Neoproterozoic crystalline basement rocks (600-700 Ma) lie 1,800 km. along the northeast flank of the Red Sea. They are made of ultramafic, metavolcanic, metasedimentary rocks, and granitic plutons, which in turn are intruded by a variety of basaltic, rhyolitic, and doleritic dykes (Şenalp, 2016).

Jeokronolojik yaş tayinleri 500'den fazla örnek (ofiyolitik gabro, diyorit ve plajioklas-granit) üzerinde U-Pb, Rb-Sr, Sm-Nd, K-Ar ve Ar-Ar yöntemleriyle yapılmıştır (Al-Saleh vd., 1998; Johnson vd., 1997). Bu çalışmaların neticesinde Arap Kalkanı'nı oluşturan terreyinlerin 900 ile 550 milyon yıl arasında üç (850-715, 715-630, 630-550) önemli zaman döneminde okyanusların açılması (rifting) ofiyolitiklerin oluşumu ile terreyinlerin kenetlenmesini ortaya çıkarmıştır (Stoeser ve Stacey, 1988; Stoeser ve Frost, 2006). Yeni çalışmaların ışığı altında elde edilen bu yaş aralıkları ile daha değişebilir. Kenetlenmenin bölgenin batısından doğusuna doğru gerçekleştiği, kalkanın doğuya doğru büyüdüğü ve böylece kalkanın doğu kısmındaki terreyinin daha genç olduğunu ortaya çıkarmıştır. Arap Kalkanı'nın en kuzeyindeki Midyan ve doğusundaki Ha'il ve Ad-Dawadami terreyinlerin 550 milyon yıl önce Arap-Nubiyan Kalkanı'na eklenecek Gondwana Kıtasının gelişimi tamamlanmıştır. Suudi Arabistan'da Neoproterozoyik (Ediakaran) Jubayla (Jibalah) Grubu'nun sedimanter kayaları üzerinde yapılan yaş tayinleri sonucu, bu kayaların yaklaşık 635 ile 541 milyon yıl arasında çökelediği ortaya konulmuştur (Al-Husseini, 2000, 2011). Bu bilgilerin ışığı altında, kuzey-batı Suudi Arabistan'da yer alan Midyan Terreyini'nin kuzey yöndeki bir uzantısı olan Telbesmi Formasyonu'nun yaş aralığı 630-541 milyon arasında olduğu düşünülmüştür. Derik ilçesi içindeki plütönik kayalar içindeki kristalize kireçtaşlarının Marinoan buzullaşması

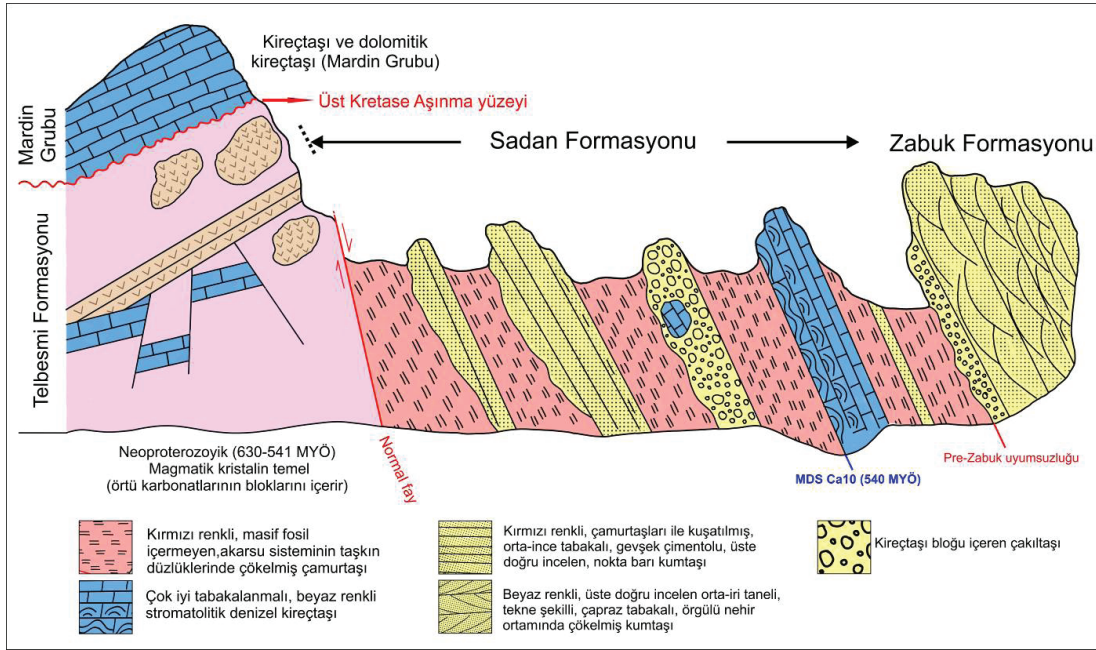
(yaklaşık 630 milyon) dönemini temsil eden örtü karbonatları olduğu önemli bir veri kaynağıdır (Şenalp vd., 2018)

Sadan Formasyonu (Erken Kambriyen, 541-529 MYÖ)

Erken Kambriyen yaşlı birim ilk defa Ketin (1966) tarafından Sadan köyünde (Derik ilçesi) tanımlanmıştır. Sadan Formasyonu, Neoproterozoyik kristalin temel üzerine diskordans olarak gelir, üst kısmı ise Zabuk Formasyonu'nun tabanında gelişen tektonik kökenli bölgesel bir aşınma yüzeyi ile sınırlandırılmıştır (Siyako vd., 2015; Şenalp vd., 2018; Nayiroğlu, 2019). Tipik kesiti Derik ilçesinin yaklaşık 4 km doğusunda, Sadan köyünün hemen batısında kuzey-güney yönünde uzanan Zabuk Vadisi boyunca 186 metre olarak ölçülmüştür (Şekil 7).

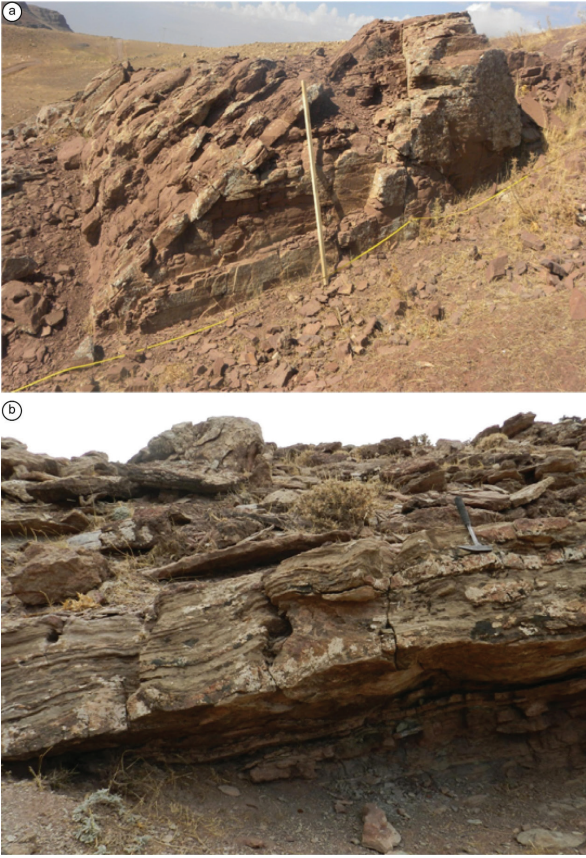
Erken Kambriyen yaşlı kırmızı renkli Sadan Formasyonu; Neoproterozoyik yaşlı kristalin temel özelliğindeki Telbesmi Formasyonu'ndan türemiş kırıntılı malzemenin geniş bir platform üzerinde çökelmiş olduğu kırmızı kumtaşı, konglomera, çamurtaşı, beyaz renkli stromatolitik algli kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı fasiyesleriyle temsil edilmiştir.

Kama-şekilli ve üste doğru tabaka kalınlığında ve tane boyunda dereceli olarak incelen bu kumtaşları taşkın düzlüklerinde çökelmiş masif kırmızı çamurtaşları ile kuşatılmıştır. İçlerindeki tekne-şekilli çapraz tabakalanma ve yanal büyüme yüzeyleri bu kumtaşlarının menderesli nehir sistemleri içindeki nokta barlarında çökeldiklerini gösterir. Bazı durumlarda bu kumtaşı birimleri düşey ve yanal yönde üst üste istiflenmiş olabilir (Şekil 8a).



Şekil 7. Neoproterozoyik Telbesmi Formasyonu ile Zabuk Formasyonları arasında yer alan Erken Kambriyen yaşlı Sadan Formasyonu'nun Zabuk Vadisi boyunca ölçülmüş Sadan Formasyonu'nun stratigrafisi ve sedimentolojisi (Şenalp vd., 2018).

Figure 7. Stratigraphic and sedimentologic features of the Early Cambrian Sadan Formation extending between the Neoproterozoic Telbesmi and Middle Cambrian Zabuk formations, measured along the Zabuk Valley (Şenalp et al., 2018)



Şekil 8. a) Sadan Formasyonu'nun alt kısımlarında menderesli nehir sistemlerinin nokta barlarında çökelmiş kumtaşları, **b)** Erken Kambriyen yaşlı algal stromatolitik sığ deniz kireçtaşı, Cm 10 (540 MYÖ) temsil eder (Şenalp vd., 2018).

Figure 8. a) Point bar sandstone unit, deposited in the meandering fluvial system of the Sadan Formation, **b)** shallow marine algal stromatolitic limestone representing Ca MFS 540 Ma) transgression (Şenalp et al., 2018).

Daha az yaygın olan konglomeralar tabakalanmasız ve kötü boylanmış olup başlıca Telbesmi Formasyonu'nun magmatik ve metamorfik kayalarından türemiş çakıl ve kum boyu bileşenlerini ve az sayıda küçük kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı blokları içerir. Şenalp vd., (2018) çalışmalarında karbonatların Marinoan (Genç Cryogenian, 635-650 MYÖ) buzullaşması sonucu bölgesel ölçekte gelişen deniz

transgresyonu sırasında deniz suyunun ısınması sonucu örtü karbonatları olarak çökelmiş oldukları tarzında yorumlamış ve “Kartopu Dünyası” teorisini (Hofmann ve Schrag, 2000) destekler yönde katkı sağlayacağını bildirmişlerdir.

Sadan Formasyonu istifinin tam ortasında playa ortamında çökelmiş, ince-taneli kırmızı renkli çamurtaşı fasiyesleri arasında onlarla uyumlu olarak çökelmiş 14 m kalınlıkta sığ deniz ortamını temsil eden stromatolitik algli kireçtaşları ve dolomitik kireçtaşları bulunur (Şekil 8b). Bu kireçtaşları Ketin (1966) tarafından Dolomit formasyonu olarak tanımlanmış ve genellikle kırıntılı kayalardan oluşan alt Kambriyen istifleri arasında geniş yayımlı olan bu birimin bölgesel korelasyonlar için güvenilir bir kılavuz seviye oluşturduğunu rapor etmiştir. Doğu İran'da, Kerman ile Sagand arasındaki bölgede geniş alanlar kaplayan Kambriyen istifleri Huckriede vd. (1962) ve Stöcklin vd. (1964) tarafından ayrıntılı olarak çalışılmıştır. Rizu serisi olarak tanımlanan bu istifler Arap Kalkanı'nın devamı olan Bariz Formasyonu üzerine açılmal bir diskordanla gelir. Tabanında 12 metre kalınlıkta bir konglomera içeren bu formasyonun üzerinde 150-200 metre kalınlıkta kırmızı renkli çamurtaşı, miltaşı ve dolomitik kireçtaşı ardalanmasını içeren Rizu Formasyonu'nun yaşı Kambriyen başlangıcı olarak kabul edilmiştir. Suudi Arabistan'da Neoproterozoyik yaşlı Arap Kalkanı'nın kristalin temeli ile Orta Kambriyen yaşlı Burj Formasyonu arasında uzanan istif Siq Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Khursaniyah-81 derin sondaj kuyusundan alınan karotlar üzerinde yapılan palinolojik çalışmalarda elde edilen acritarch fosil topluluğuna dayanarak Sadan Formasyonu ile benzer özellikler gösteren Siq Formasyonu'nun yaşı en Erken Kambriyen (Fortuniyen; 541-529 MYÖ) olarak belirtilmiştir (Hadley ve Schmidt, 1980; Molyneux ve Al-Hajri, 2000). Umman'da Ara Grubu içindeki Birba Formasyonu'nu oluşturan bu denizel karbonat istifi içinde en Erken Kambriyen yaşını gösteren acritarch

(*Cloudina Namacalathus*) ve önemli stromatolit (*Conophyton*) fosilleri bulunmuştur (Amthor, 2005).

Suudi Arabistan, Güneydoğu Türkiye ve İran ile yapılan bölgesel korelasyonlar bu stromatolitik kireçtaşlarının ve dolomitik kireçtaşlarının çökmesini gerçekleştiren deniz transgresyonunun bölgesel bir özellikte olduğunu göstermiştir. Şenalp vd., (2018) çalışmalarında Paleozoyik istifleri içindeki bu en Erken Kambriyen yaşlı deniz transgresyonunu Maksimum Deniz Seviyesi (MDS Cm10, 540 MYÖ) olarak tanımlamıştır. Sadan Formasyonu'nun tüm litofasiyes özellikleri bu formasyonun Telbesmi Formasyonu'nun tektonik yükselmesi sonucu gelişen yarı-graben özelliğindeki havza içinde alüvyon yelpazesi ortamında çökelmiş olduğunu göstermektedir. İstif içinde playa ortamında çökelmiş bol miktarda evaporitik çamurtaşlarının ve bunların arasında uyumlu olarak denizel stromatolitik kireçtaşlarının çökelmiş olması söz konusu olan Sadan grabeninin açık deniz ortamından fazla uzak olmayan bir bölgede gelişmiş olduğu görüşünü desteklemektedir (Şenalp vd., 2018).

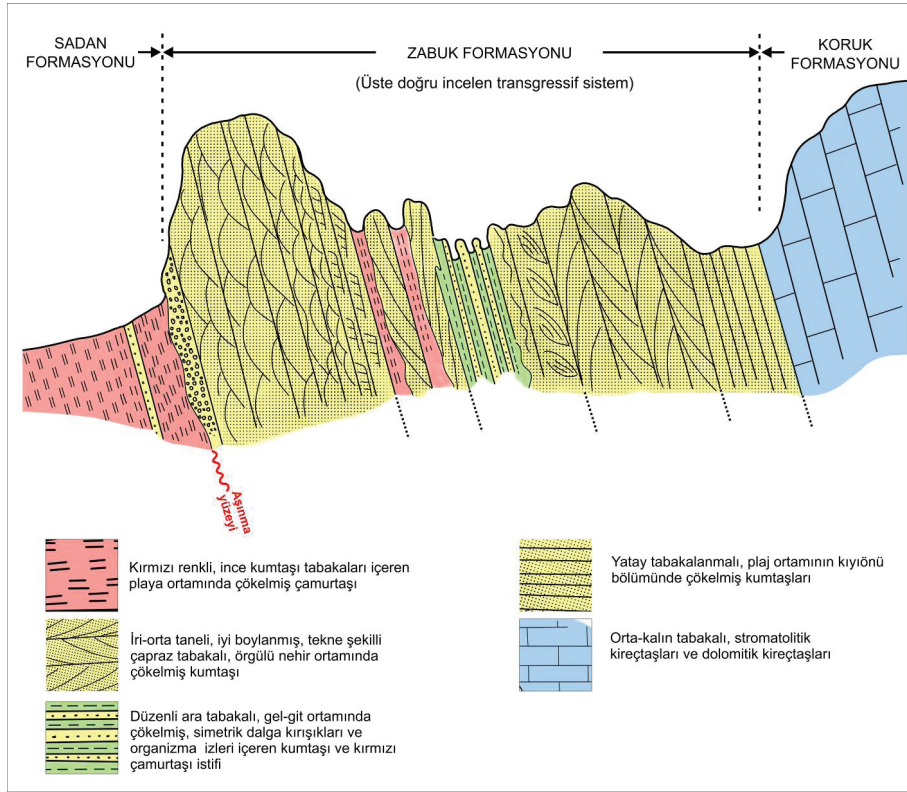
Zabuk Formasyonu (Erken Kambriyen, 529–514 MYÖ)

Zabuk Formasyonu ilk defa Schmidt (1965) tarafından Zabuk vadisi içinde ve Sadan Formasyonu üzerine çok belirgin ve tektonik kökenli bir aşınma yüzeyi üzerine diskordan olarak gelen kumtaşlarını tanımlamak için kullanılmıştır. Birim, Orta Kambriyen'de zamanında sığ su ortamında çökelmiş karbonat kayaçları (Koruk Formasyonu) ile uyumlu olarak örtülmüştür. Zabuk Formasyonu sedimantolojik yönden eksiksiz bir transgresif çökme sistemini temsil eder ve deniz seviyesinin yükselmesini işaret eden genetik-ilişkili litofasiyeslerden oluşur.

Zabuk Formasyonu'nun tip kesiti Zabuk Vadisi boyunca 300 metre olarak ölçülmüş

(41.30479 K; 61.6074D) ve farklı litofasiyes özellikleri gösteren kumtaşı, çamurtaşı, miltaşı ve kiltası litolojilerini içermektedir (Şekil 9). İstifin en tabanı tekne-şekilli çapraz tabakalanmanın göze çarptığı, kumun baskın olduğu yönünden egemen yüksek enerjili örgülü nehir ortamında çökelmiş kumtaşı fasiyesi ile başlar. Zabuk Formasyonu'nun en üst kısmı, plaj ortamının kıyı önü bölümünde yüksek enerji koşulları altında çökelmiş yatay-tabakalı orta-taneli ve iyi-boylanmış kumtaşları ile temsil edilmiştir. Ölçülmüş tip kesit içinde deniz seviyesinin yükselmesini işaret eden genetik ilişkili beş çökme birimi ayırtlanmış ve Zabuk Formasyonu'nun litofasiyesleri olarak tanımlanmışlardır (Şenalp vd., 2018). Bu litofasiyesler alttan üste doğru: a) Örgülü nehir fasiyesi, b) Menderesli nehir fasiyesi, c) Gelgit düzlüğü fasiyesi, d) Kıyı eoliyen fasiyesi ve e) Kıyıönü plaj fasiyesidir. Olası hidrokarbon birikimleri için potansiyel rezervuar kaya oluşturan kumtaşları örgülü nehir ve kıyıönü fasiyesleri içindedir.

a) Örgülü nehir fasiyesi: Bu fasiyes Sadan Formasyonu'ndan çok belirgin ve dalgalı bir aşınma yüzeyi ile ayrılmıştır (Şekil 10a). Üst sınırı ise çok yakın ilişkili olduğu menderesli nehir fasiyesi'nin kumtaşı ve çamurtaşları ile uyumludur. Bu örgülü nehir fasiyesi 60 metre kalınlıkta olup, genellikle kırmızı renkli, orta-kalın tabakalı ve çok kuvvetli tekne-şekilli çapraz tabakalanma gösteren, ince-orta taneli ve iyi-boylanmış temiz kuvars kumtaşlarından yapılmıştır (Şekil 10b). Her bir çapraz tabakalı birimin kalınlığı 1,5 metreyi aşmaktadır. Kumtaşları yanal ve düşey yönde istiflenmiş geniş ve sığ flüviyal kanallar içerisinde çökelmiştir. Kumtaşlarının tabakalanma kalınlıkları, çapraz tabakalanma setlerinin kalınlığı ve kumtaşlarının tane boyu kanal içindeki su derinliğinin dereceli olarak azalması ve enerji seviyesinin düşmesi sonucu üste doğru azalır. Bu fasiyes, yüksek enerji ortamında ve aşırı miktarda kum yüklü olan sığ örgülü kanallar ve bu kanalları ayıran barlar içinde çökelmiştir.



Şekil 9. Sadan Formasyonu ile Koruk Formasyonları arasında yer alan Zabuk Formasyonu'nun farklı litofasiyelerini ve sedimentolojik özelliklerini gösteren enine kesit (Şenalp vd., 2018).

Figure 9. Sedimentologic cross-section showing various lithofacies of the Zabuk Formation between the Sadan and Koruk formations, represented along the Zabuk Valley (Şenalp et al., 2018).

b) Menderesli nehir fasiyesi: Bu fasiyesi oluşturan çökeller, alttaki örgülü nehir fasiyesinin çökelleri üzerine uyumlu olarak oturur (Şekil 11a). Bu yakın ilişki, kaynak alanındaki tektonik yükselmenin yavaşladığını ve özellikle kaba taneli çökellerin aşınma miktarındaki belirgin bir azalmayı temsil eder. Bu azalma; yamaç eğiminin düşmesi, bölgesel deniz seviyesinin yükselmesi veya iklim değişiklikleri ile bağlantılı da olabilir. Menderesli nehir fasiyesi, üstüne gelen gelgit düzlüğü üyesinin tabanındaki ince-taneli gelgit arası çökelleri tarafından transgresif olarak üstlenir. Ölçülen tipik kesit 48 metre kalınlıkta olup, başlıca koyu kırmızı

renkli kumtaşı ve çamurtaşı araldanmasından oluşmaktadır. Kumtaşlarının kalınlığı 2,10 ile 2,55 metre arasında olup genişlikleri ise 10-12 metre arasında değişen, düşey yönde istiflenmiş kamaşekilli nokta barları olarak çökelmiştir (Şekil 9a). Kumtaşlarının tane boyu ve boylanmaları alttan üste doğru dereceli olarak belirgin bir azalma gösterir. Çapraz tabakalanma ve yanal büyüme yüzeyleri aktif çökelenin meydana geldiği nokta barları kumtaşlarının alt kısımlarında görülür. Bu nokta barları birbirleriyle kısmen bağlantılı olabildiği gibi tümüyle çamurtaşları tarafından kuşatılmış olabilir.



Şekil 10. a) Zabuk Formasyonu'nun örgülü nehir sistemi kumtaşlarının genel görünüşü, **b)** Zabuk Formasyonu'nun alttaki Sadan Formasyonu ile olan Zabuk-öncesi aşınma yüzeyi ve örgülü nehir sistemi kumtaşlarının yakından görünüşü (Şenalp vd., 2018).

Figure 10. a) General view of braided fluvial sandstones of the Zabuk Formation, and **b)** erosional unconformity surface (Pre-Zabuk Unconformity) cutting into the Sadan Formation with close view of the braided fluvial sandstones (Şenalp et al., 2018).

c) Gelgit düzlüğü fasiyesi: Gelgit düzlüğü fasiyesi, alttaki karasal özellikteki menderesli nehir fasiyesi üzerine transgresif olarak gelir. Bu transgresyon yüzeyi Gondwana Kıtası üzerinde ilk defa bu bölgede gözlemlenmiş olup, Şenalp (2015) tarafından MDS Cm15 (521 MYÖ) olarak tanımlanmıştır. Bu sınır oldukça keskin olup kumtaşlarının tabanında iz fosillerin bol olarak görülmesiyle belirgindir.



Şekil 11. a) Zabuk Formasyonu'nun menderesli nehir sistemini temsil eden kumtaşlarının ve çamurtaşlarının genel görünüşü, **b)** Zabuk Formasyonu'nun gel-git ortamını temsil eden kumtaşlarının ve çamurtaşlarının genel görünüşü (Şenalp vd., 2018).

Figure 11. a) General view of braided fluvial sandstones of the Zabuk Formation and **b)** erosional unconformity surface (Pre-Zabuk Unconformity) cutting into the Sadan Formation with close view of the braided fluvial sandstones (Şenalp et al., 2018).

Gelgit düzlüğü fasiyesinin, kıyı eoliyen fasiyesi ile olan üst sınırı, kısmi bir aşınma yüzeyi olup deniz seviyesinin bir miktar alçalması sonucudur. Bu fasiyesin tipik kesitteki kalınlığı 62 metre olup, başlıca açık bordo veya kırmızı renkli bol iz fosilleri içeren kumtaşı, miltaşı ve çamurtaşının düzenli bir şekilde ardalanmasıyla temsil edilmiştir. (Şekil 11b). Bu fasiyes içerisinde düşey olarak sıralanmış kalınlığı 13-18 metre arasında

değişen, tabaka kalınlığının ve çökellerin tane boyunun dereceli olarak üste doğru arttığı dört farklı para-istif gözlemlenmiştir.

Bu istiflerin tabanında yaklaşık 4 metre kalınlıkta ve düzenli ardalanmalı miltaş ve çamurtaş istifi bulunur. Bunun üzerine dereceli geçişli olarak 4-5 metre kalınlıkta miltaş, çamurtaş ve ince-tabakalı kumtaşından yapılmış, simetrik dalga kırışıkları, tırmanan simetrik dalga kırışıkları, merceksel kumtaş tabakaları ve flaser tabakalanma gibi önemli sedimanter yapılar içeren bir istif gelir. Üste doğru kalınlaşan istifin en üst bölümü 5-7 metre kalınlıkta olup gelgit kanalları içinde çökelmiş, ince-orta tabakalı, ince-orta taneli kumtaşlarından yapılmış olup, balık iskeletine benzer iki yönlü çapraz tabakalanma ve sigmoidal gelgit tabakalanma yapıları çok iyi gelişmişlerdir. Kumtaş tabakalarının tabanında çok yaygın olarak yük kalıpları ve iz fosilleri bulunur. Bu iz fosillerinden *Planolites* ve *Cruziana* en kolay tanınabilenlerdir. İstifte gözlemlenen 4 para-istifin her biri sığ, fakat açık deniz ortamında gelgit deltaları olarak çökelmiştir. Delta istiflerinin kalınlığının denizin derinliği ile yakın ilişkili olduğu düşünülürse, su derinliğinin 20-25 metre olduğu tahmin edilir. Gelgit delta sisteminin, git (cezir) aşamasında ve denize geri dönen akıntılar tarafından çökeltildiği olduğu yorumu yapılabilir.

d) Kıyı eoliyen fasiyesi: Zabuk vadisi içinde 110 metre olarak ölçülen kıyı eoliyen fasiyesi kırmızı renkli, orta-kalın tabakalı, ince-orta taneli ve çok büyük çapraz tabakalanmalı kumtaşlarından yapılmış olup, iz fosilleri bu üye içinde tümüyle kaybolmuştur. Bu durum deniz seviyesinin bir miktar düşmesi sonucu gelişmiş olup, oluşan kara alanları üzerine kıyı bölgelerinde çökelen kıyı kumulları ilerlemiştir (regresyon). Bu fasiyesin eoliyen kumtaşları üzerine kıyıönü plaj kumları transgresif olarak oturur. Alt yüzeyleri teğetsel olan büyük ölçekli tekne-şekilli çapraz tabakalanma yaygın ve çok güzel gelişmiştir.

Çapraz tabakaların içinde eğimleri 34 dereceye varan laminalar farklı tane boylarından yapıldıkları için iyi gelişmiş bir şerit yapısı gösterirler. Çapraz tabakalanma eğiminin 34 dereceyi geçtiği durumlarda duraylılığını kaybedip yıkılan tabakalar bu fasiyesin başka bir özelliğidir. Büyük ölçekli teğetsel çapraz tabakaların üst kısımları dalga uzunluğu çok geniş olan simetrik rüzgâr kırışıkları ile kaplanmıştır. Mil boyu laminalardan yapılmış ince seviyeler kalın kumtaş tabakaları arasında görülebilir ve havada uçuşan tozların rüzgârın etkisinin kaybolduğu zamanlarda eoliyen kumları üzerinde çökeldiğini gösterir. Kıyı eoliyen fasiyesini oluşturan orta-kalın tabakalı, ince-orta taneli ve oldukça iyi boylanmış ve yüksek enerji koşulları altında çökelmiş eoliyen kumtaşları çok iyi rezervuar kaya özelliğine sahip olup, bunlardan dünyanın pek çok yerinde üretim yapılmaktadır. Kalın ve yanal yönde geniş yayımlı eoliyen kumtaşları genellikle iklimin kurak olduğu Erken Paleozoyik ve Permiyen ile Erken Jura zaman aralığında yaygındır (Koçurek ve Neilson, 1986; Weber, 1987). Eoliyen sedimanlarının, çoğu rüzgârla çökeltilmiş çöl çökelleri ve kıyı kumullarından oluşur. Kalın ve yanal olarak geniş yayımlı kumtaş rezervuarları oluşturabilirler. Eoliyen kumtaş rezervuarları genellikle jeolojik kayıta, erken Paleozoyikte ve Permiyen ile Erken Jura arasında iki zaman aralığında bulunur.

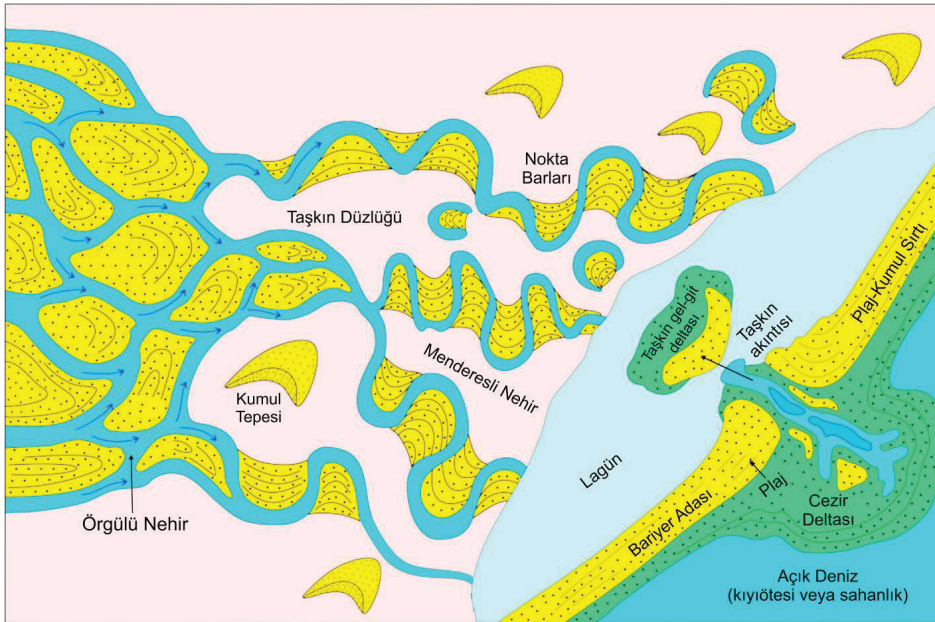
e) Kıyıönü plaj fasiyesi: Zabuk Formasyonu'nun en üst birimini oluşturan yaklaşık 28 metre kalınlıktaki kıyıönü plaj fasiyesi deniz seviyesinin yükselmesi sonucu alttaki kıyı eoliyen fasiyesi üzerine transgresif olarak gelir. Bu transgresyon yüzeyi Orta Kambriyen (514 MYÖ) zamanının başlangıcı olarak kabul edilmiştir. Bu fasiyes, transgresyon yapan sığ denizin, istifin altındaki eoliyen kumlarını aşındırıp yeniden deniz tabanında çökelttiği beyaz-açık pembe renkli, orta-kalın tabakalı (80 cm ile 1,25 m arasında), paralel düzlemsel tabakalı, ince laminalı kumtaşlarından yapılmıştır. Farklı enerji seviyelerini yansıtan

genellikle ince-orta taneli, seyrek olarak iri-taneli, oldukça iyi boylanmış, gözenekli (yaklaşık %10-15) ve yüksek enerji koşulları altında çökelmiş bu transgresif kumtaşları çok iyi rezervuar özelliğine sahiptir. Enerji seviyesinin yüksek olması nedeniyle sedimanter yapılar ve organizma izleri gelişmemiştir. Kumtaşı tabakaları içinde farklı tane boyları ile temsil edilmiş laminalar 3-5 derece arasında deniz yönünde eğimli ve dalgaların kırıldığı plaj yüzünü temsil eder. Bu kumtaşları üste doğru dereceli olarak Koruk Formasyonu'nun algal kireçtaşları ve dolomitik kireçtaşlarına geçer ve deniz seviyesinin yükselmesinin devam ettiğini gösterir. Kumtaşları kalsit çimentoludur ve dolomitlerin tabanında kuvars kumları bulunur. Kıyıönü kumtaşı fasiyesi üzerine çökelmiş algal stromatolitik kireçtaşları ve dolomitlerin kaynak kaya olabilme özelliklerine sahip olması ve burada oluşan hidrokarbonların aşağı yönde göç etmesi durumunda bu kıyıönü plaj fasiyesi önemli bir hidrokarbon potansiyeli oluşturur. Zabuk

Formasyonu'nu oluşturan üyelerin çökme ortam modelleri ve bu ortamların birbirleriyle olan yanıl ilişkileri Şekil 12'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Koruk Formasyonu (Orta Kambriyen, 514-497 MYÖ)

Adını, Derik ilçesinin 4-5 km güneydoğusundaki Koruk köyünden alan Orta Kambriyen (514-497 MYÖ) yaşlı Koruk Formasyonu ilk defa Ketin (1966) tarafından tanımlanmıştır. Koruk Formasyonu'nun kalın karbonat istifi, Zabuk Formasyonu'nun kıyıönü plaj fasiyesinin kumtaşları üzerine uyumlu olarak oturur ve deniz seviyesinin dereceli olarak yükselmesini temsil eder. Formasyonun üst kısmı dereceli olarak, gittikçe derinleşen bir su ortamında çökelmiş olan Sosink Formasyonu'na geçer. Genellikle kumtaşı ve şeyl aralanmalı Sosink Formasyonu'nun tabanında ince kireçtaşı tabakaları bulunur (Şekil 13).



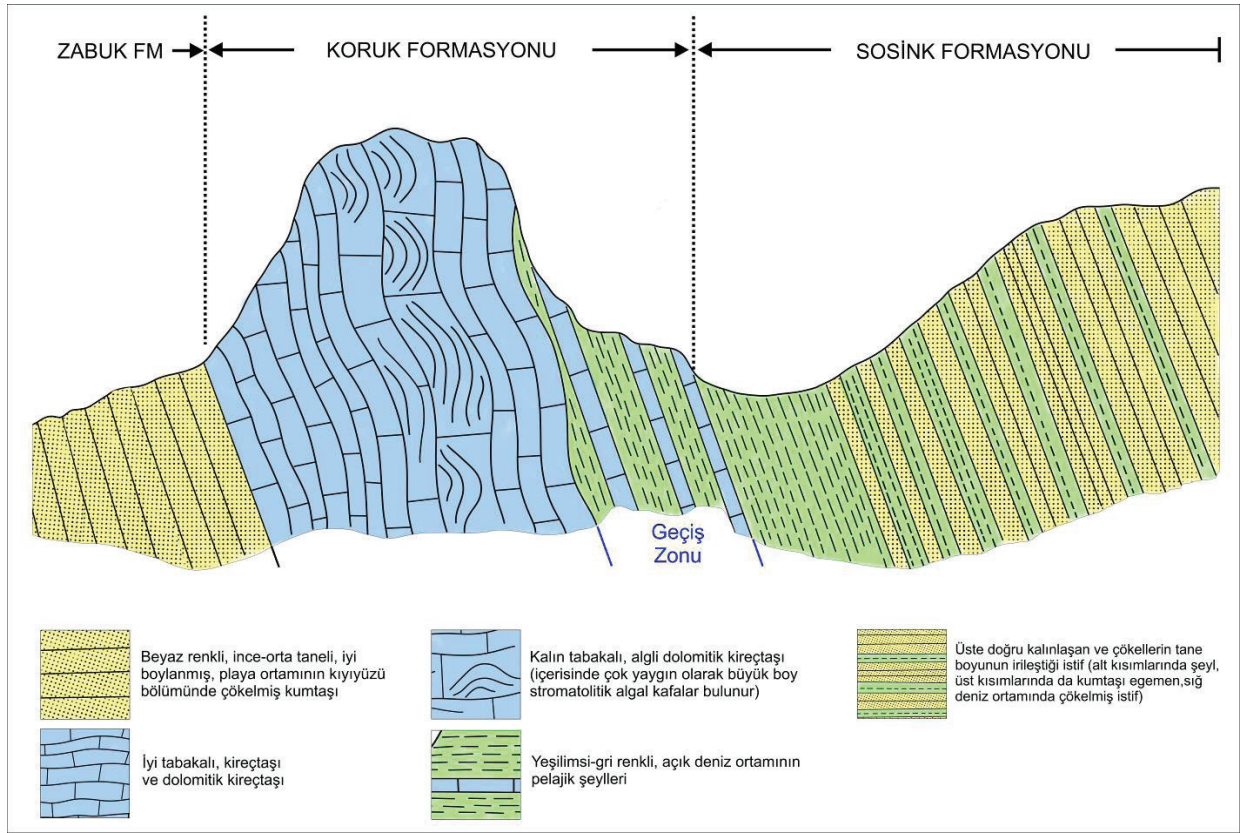
Şekil 12. Zabuk Formasyonu'nu oluşturan organik nehir, menderesli nehir, gel-git düzlüğü, kıyı eolien ve kıyıönü plaj üyelerinin çökme ortamı modeli Zabuk Vadisi boyunca temsil edilmiştir (Şenalp vd., 2018).

Figure 12. Depositional model of the Zabuk Formation, consisting of braided meandering stream, tidal flat, and coastal eolian and foreshore units exposed along the Zabuk Valley (Şenalp et al., 2018).

İki formasyon arasındaki sınır bu çakışmada, dalga kırışıkları gösteren kumtaşı tabakasının tabanına yerleştirilmiştir. Koruk Formasyonu'nun tipik kesiti Zabuk Vadisi boyunca ölçülmüştür. Ayrıca, Konur Formasyonu'nun alt ve üst sınır ilişkileri ve içerdikleri farklı karbonat fasiyesleri, Derik ile Mazıdağı ilçeleri arasında uzanan Şıp Deresi boyunca çok iyi temsil edilmiştir (Şenalp vd., 2018).

Geniş yayımlı Koruk Formasyonu yaşı, litolojik özellikleri ve çökme ortamları yönünden büyük benzerlik gösteren Çal Tepe

Formasyonu Beyşehir (Konya) ve Göksun (Kayseri) bölgelerinde çok iyi mostralar verir (Dean ve Monod, 1970; Özgül, 1971; Özgül ve Gedik, 1973). Koruk Formasyonu'nun Zabuk Vadisi içinde tanımlan tipik kesitteki kalınlığı 150 m olarak ölçülmüştür. Formasyonu oluşturan karbonat istifinin tabaka kalınlığı istifin üst seviyelerine doğru dereceli olarak inceler ve dolomitler üste doğru dolomitik kireçtaşlarına ve daha sonra da tümüyle kireçtaşlarına geçer. Bu özelliği nedeniyle istif alttan üste dört ayrı litofasiyese bölünmüştür (Şekil 14).



Şekil 13. Zabuk Formasyonu ile Sosink Formasyonu arasında yer alan Orta Kambriyen yaşlı Koruk Formasyonu'nun litofasiyes özellikleri (Şenalp vd., 2018).

Figure 13. The lithofacies characteristics of the Middle Cambrian Koruk Formation, which is situated between the Zabuk and Sosink formations (Şenalp et al., 2018).

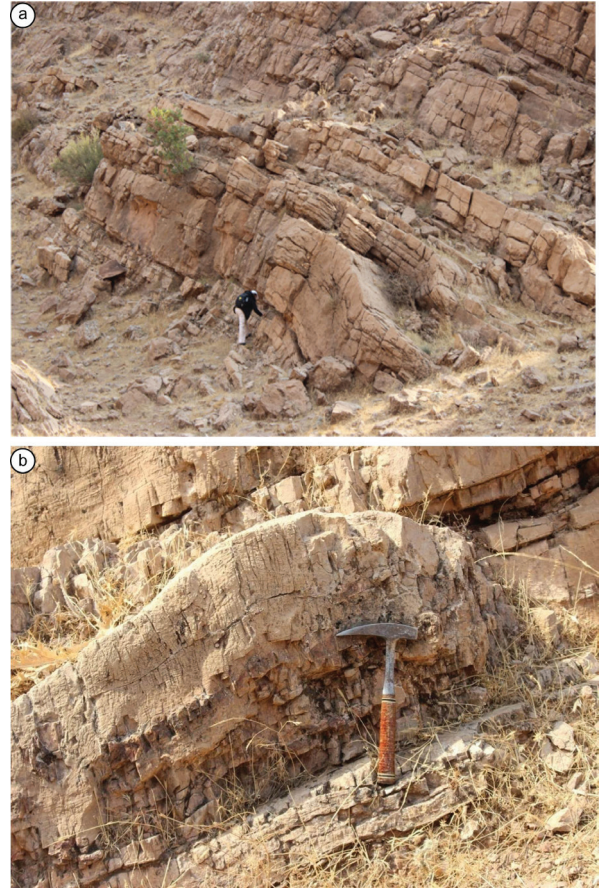
Stratigrafi		Kalınlık (m)	Litoloji	Litolojik Tanımlama	Çökeltme ortamı
Yaş	Birim				
				Şeyl	Kıyıötesi sahanlık
Orta Kambriyen (Drumiyen, Guzhanıyen)	Birim c	150		Aratabakalı şeyl, ince tabakalı, dalga kırışıkları içeren kumtaşı ve yumru kireçtaşı	Sığ deniz sahanlığı
	Birim b	140		Beyaz renkli, ince-tabakalı mikritik kireçtaşı	
	Birim a	130		İyi tabakalanmış, ince tabakalı, beyaz renkli biyoklastik mikritik kireçtaşı	
Erken Kambriyen Zabuk Formasyonu		120		Büyük boy stromatolitler içeren çörtlü dolomitik kireçtaşı, kireçtaşı ve dolomit	Kıyıötesi
		110		Düzlemsel, tablamsı çapraz tabakalanma gösteren, temiz, iyi boylanmış kumtaşı	

Şekil 14. Zabuk Vadisi boyunca ölçülmüş kesitte Koruk Formasyonu'nun stratigrafik ve sedimentolojik özellikleri (Şenalp vd., 2018).

Figure 14. Stratigraphic and sedimentologic section of the Koruk Formation, measured along the Zabuk Valley (Şenalp et al., 2018).

Litofasiyes 1: Yaklaşık 30 metre kalınlıkta, yaygın olarak iri çakıl boyunda çört yumruları içeren kahve renkli, çok sert, orta-çok kalın tabakalı dolomit (dolosparit) ve çok az miktarda dolomitik kireçtaşından oluşmaktadır (Şekil 15a). Dolomitler bazı yerlerde büyük boy stromatolitlerden yapılmış olup lahanaya benzer çok ince laminalanmalar gösterir (Şekil 15b).

Litofasiyes 2: Yaklaşık 78 metre, orta-tabakalı ve daha düzgün paralel tabakalanmalı olup başlıca dolomitik kireçtaşı ve biyoklastik kireçtaşlarından oluşmaktadır.



Şekil 15. a) Koruk Formasyonu'nun büyük bir kısmını oluşturan kalın ve masif algal dolomitik kireçtaşları. **b)** Koruk Formasyonu içinde büyük boyda ve tipik kubbe-şeklindeki algal dolomitik kireçtaşlarının yakından görünüşü (Şenalp vd., 2018).

Figure 15. a) Thick and massive algal dolomitic limestones form a large part of the Koruk Formation. **b)** Close-up view of the large, dome-shaped algal dolomitic heads of the Koruk Formation (Şenalp et al., 2018).

Litofasiyes 3: Yaklaşık 22 m kalınlıkta olan bu litofasiyes, düzgün, ince-orta tabakalı, beyaz veya açık krem renkli mikritik kireçtaşı ile temsil edilmektedir.

Litofasiyes 4: İstifin en üst bölümünü oluşturan 21 metre kalınlıktaki bu fasiyes, üstüne gelen Sosink Formasyonu arasındaki bir geçiş zonunu temsil eder. Bu çalışmada şeyl, marn ve

ince kumtaşları ile ara tabakalı olarak çökelmiş yumrulu kireçtaşları Koruk Formasyonu içine dahil edilmiştir (Şenalp vd., 2018).

Koruk Formasyonu, karadan gelmiş hiçbir kırıntılı malzemenin bulunmadığı bir açık deniz ortamında çökelmiştir. Tabaka kalınlıklarının alttan üste doğru azalması, litofasiyelerin üste doğru diziliş biçimleri ve formasyonun üstteki daha derin deniz ortamına dereceli geçişi Koruk Formasyonu'nun içinde çökelmiş olduğu denizin seviyesinin yavaşça yükselmiş olduğunu gösterir. Koruk Formasyonu'nun alt ve orta kısımlarını oluşturan Litofasiyes 1 ve Litofasiyes 2 nispeten sığ bir deniz ortamındaki kıta sahanlığı üzerinde fakat Litofasiyes 3 ve Litofasiyes 4 daha derin ve açık bir deniz ortamındaki kıta sahanlığı üzerinde çökelmiştir. Formasyonun önemli bir bölümünü oluşturan stromatolitik algli kireçtaşı fasiyesinin kaynak kaya olma potansiyeli yüksektir. Koruk Formasyonu'nun kıta sahanlığı üzerinde çökmesinin hemen sonrası deniz seviyesinin derinleşmesi sonucu Sosink Formasyonu'nun tabanında çökelen derin deniz şeyl fasiyesi tarafından örtülmüş olması, algler içindeki organik maddenin indirgeyici koşullar altında korunmasına ve bu nedenle, hidrokarbon oluşumuna olumlu yönden olanak sağladığı çok önemlidir. Zabuk Vadisi ve Şıp Deresi boyunca kalın istifler oluşturan algal stromatolitik dolomit ve dolomitik kireçtaşları içindeki organik madde oksitlenerek bozulmuş olduğundan çalışmaların kuyulardan alınacak karotlar üzerinde yapılması daha doğru sonuçlar verebilir. Suudi Arabistan'ın Al Jawf bölgesinde Koruk Formasyonu'na çok benzeyen fakat Devoniyen yaşlı Qasr Formasyonu hafif petrol için çok önemli bir kaynak kaya ve rezervuar kaya fasiyesi oluşturur.

Koruk Formasyonu Arap Platformu üzerinde geniş bir yayılım sunar ve bölgesel korelasyonlar için çok yararlı anahtar bir seviyeyi oluşturur. Bu karbonat istifi, Ürdün'ün güneyinde ve Akabe Körfezi'nin hemen kuzeyinde, Ölü Deniz'in

güneydoğu köşesinde kalın ve dik bir istif oluşturan Khirbet Burj (Kale) lokasyonda Burj Formasyonu (Burj Kireçtaşı) ile aynı yaşta olup (Erken Orta Kambriyen) aynı fasiyes özellikleri gösterir (Wolfart, 1981). Burj Formasyonu Suriye, Batı Irak ve Ürdün'de iyi-tanımlanmış bir sismik seviye oluşturur. Bu formasyonun kalınlığı Ürdün'ün güneyindeki Wadi Sirhan'da 60 metre olduğu halde Irak-Ürdün sınırında 180 metreye ve Irak'ın Rutba bölgesinde 200 metreye ulaşmaktadır. Burj Formasyonu içindeki trilobit ve brakiyopod fosilleri, bu formasyonun yaşının Erken-Orta Kambriyen olduğunu göstermiştir. Buna karşın formasyon içinde yapılan daha ayrıntılı palinolojik çalışmalarda bulunan *Celtiberrium cf. dedalinum* formasyonun yaşını Orta Kambriyen (Andrews vd., 1991) olarak daha dar bir alana yerleştirmiştir. Aynı yaş ve bezir özelliklere sahip karbonat istifi Suudi Arabistan'da birkaç derin arama kuyusunda rastlanılmış ve istif Burj Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Bu formasyon, Khursaniyah-81 derin petrol arama kuyusunda 65 m olarak tespit edilmiş ve tüm istiften karot alınmıştır. Şenalp (2006a) tarafından ayrıntılı olarak çalışılmış bu formasyon, genellikle ince-orta tabakalı ve bol gözenekli algal kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, killi kireçtaşı fasiyesleri, daha az miktardaki kırmızı renkli çamurtaşları ile ara tabakalı olarak çökelmiştir. Bu çökellerden alınan çok sayıdaki örneklerin palinolojik çalışmaları sonunda değişik acritarch fosilleri bulunmuştur. Bu topluluk içinde en yaygın olan *Annulum squamaceum* fosili Burj Formasyonu'nun yaşını Erken-Orta Kambriyen olarak göstermiştir (Molyneux ve Al-Hajri, 2000).

Sosink Formasyonu (Geç Kambriyen, 497-485 MYÖ)

Geç Kambriyen yaşlı Sosink Formasyonu ilk defa Taylor (1955) tarafından Derik ilçesinin Zabuk Vadisi'nde yer alan Sadan ile Sosink köyleri arasında ölçtüğü yüzey kesitinde tanımlanmıştır.

Bölgede Sosink Formasyonu'nun çok iyi mostra verdiği başka bir bölge ise Şıp Deresi boyuncadır. Sosink Formasyonu'nun, Koruk Formasyonu ile olan alt sınırı uyumlu ve dereceli geçişli, fakat Konur Formasyonu (yeni tanımlama) ile olan üst sınırı ise kolayca tespit edilecek özellikte değildir (Şekil 13), çünkü her iki formasyonun litolojik özellikleri ve içerdikleri sedimanter yapılar çok yakın benzerlikler gösterir. Fakat çökme ortamları oldukça farklıdır. Bu geçiş zonunda bölgesel bir faylanma sonucu tabakaların doğrultu ve eğim yönlerinde önemli dönme hareketleri görülmüştür (Şenalp vd., 2018). Sosink Formasyonu'nun tipik kesitte ölçülmüş kalınlığı 353 metredir ve çok düzgün tabakalanma gösteren şeyl, miltası ve kumtaşı ardalanmasından yapılmıştır (Şekil 16). Etkin dalga tabanının altında, nispeten derin, geniş yayımlı ve düşük eğimli şelf ortamında çökelmiş şeyl fasiyesi daha egemendir. İstif içerisinde, kuvvetli fırtınaların ve kasırgaların egemen olduğu dönemlerde, dalga boyunun artması ve etkin dalga tabanının önemli ölçüde derinleşmesi sonucu ortaya çıkan çalkantılı ve yüksek enerjili çökme ortam koşullarını simgeleyen tümsekli- çapraz tabakalanma, oygu- ve dolu- yapıları iyi temsil edilmiştir. Fırtınalı dönemlerin sona ermesi ve düşük enerjili deniz ortamının yeniden egemen olması koşullarını simgeleyen simetrik dalga kırışıkları tüm istif içine yayılmıştır. Bu fiziksel sedimanter yapılarla birlikte yatay ve düşey yöndeki organizma iz fosilleri tabakaların içinde, alt ve üst yüzeylerinde yaygındır ve iyi korunmuştur (Şekil 17a ve b).

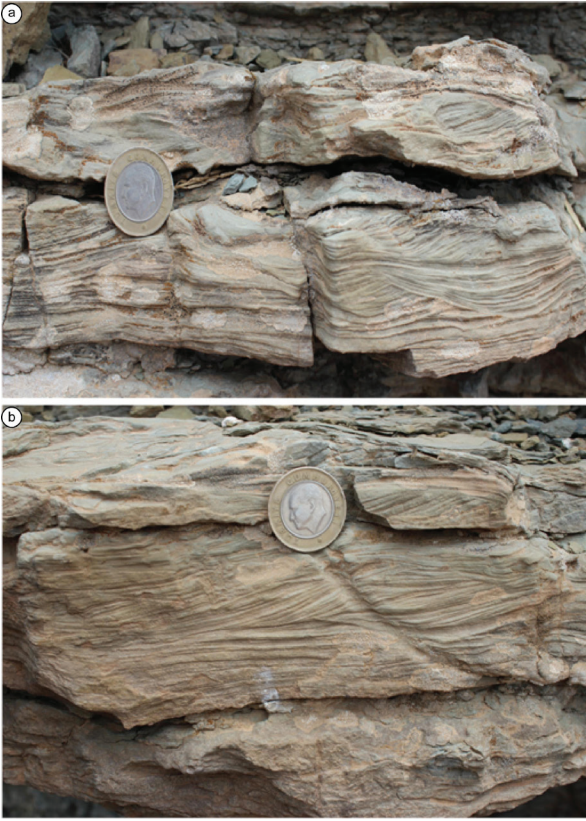
Sosink Formasyonu'nu oluşturan farklı tane-boyundaki kırıntılı kayalar üste doğru dereceli olarak tabakaların düzenli olarak kalınlaştığı ve çökellerin tane boyunun dereceli olarak irileştiği regresif bir istif modeli oluştururlar. Bu regresif istif, kıyı çizgisinin sürekli olarak açık denize doğru ilerlemesinin sonucunda ortaya çıkmıştır. Sedimanter yapıların istif içindeki sıralanışları çökme sırasındaki enerji seviyesinin değişimleri

ile uyumludur. Bütün bu özellikler göz önüne alındığında; Sosink Formasyonu'nun, deniz seviyesinin sürekli dalgalanmalar gösterdiği geniş bir kıta sahanlığı üzerinde fırtınaların egemen olduğu plaj ortamının aşağı ve yukarı kıyı-yüzü bölümlerinde çökeldiği, anlaşılır. Geç Kambriyen yaşlı Sosink Formasyonu Gondwana Kıtası'nın önemli bir bölümünü oluşturan Arap Platformu üzerinde geniş bir yayılım gösterir. Sosink Formasyonu ile aynı yaş aralığında çökelmiş istifler, Suriye'de Sosink Formasyonu, Ürdün'de Disi Formasyonu olarak adlandırılmıştır (Aqrawi, 1998a, 1998b; Konert vd., 2001; Sharland vd., 2001). Irak'da ise bu istif henüz tanımlanmamıştır.



Şekil 16. Koruk Formasyonu'nun üstüne gelen Sosink Formasyonu'nun alt kısmında genellikle şeyl fasiyesi egemendir, fakat üste doğru dalga kırışıklı ve tümsekli-çapraz tabakalanma gösteren kumtaşlarının daha egemen olduğu bir istife geçer. Bu istif şelf ortamında çökelmiş kıyıönü fasiyesini temsil eder (Şenalp vd., 2018).

Figure 16. The lower part of the Sosink Formation, overlying the transitional zone with the Koruk Formation, is shale-dominated but upward it passes gradually into an interbedded shale and sandstone sequence and finally into wave-rippled, hummocky-cross-bedded sandstone facies deposited in the lower-to upper shoreface environment (Şenalp et al., 2018).



Şekil 17. a, b) Sosink Formasyonu'nun kumtaşları içinde görülen değişik çökeltme yapıları (Tümsekli çapraz-tabakalanma, simetrik dalga-kırıksıkları ve akıntı kırışık-markaları, oyuğu- ve dolgu-yapıları) çok iyi korunmuştur (Şenalp vd., 2018).

Figure 17. a, b) Various sedimentary structures (hummocky cross-bedding, symmetrical wave-ripples, current-ripples, cut-and fill-structures) are well represented in the sandstones (Şenalp et al., 2018).

Konur Formasyonu (Erken Ordovisiyen 485-470 MYÖ)

Erken Ordovisiyen yaşlı Konur Formasyonu ilk olarak Şenalp vd. (2018) tarafından Zabuk Vadisi içinde ve Konur köyüne yakın bir bölgede tanımlanmıştır. Aynı istif, Derik-Mazıdağı karayoluna paralel olarak uzanan Şıp Deresi boyunca kesiksiz olarak temsil edilmiştir. Bedinan Formasyonu, Konur Formasyonu üzerine transgresif olarak gelir. Başlıca kumtaşı, şeyl ve az miktardaki miltaşı ile temsil edilmiş olan

Konur Formasyonu, Zabuk Vadisinde 242 metre olarak ölçülmüştür. Tüm formasyon düşey yönde istiflenmiş ve ortalama kalınlıkları 45 m ile 70 m arasında değişen, üste doğru tabakaların düzenli olarak kalınlaştığı ve kumtaşlarının tane boyunun dereceli olarak irileştiği regresif bir istif modeli sunar. İçerdiği litofasiyesler ve sedimanter yapılar değerlendirildiğinde, Konur Formasyonu'nun kıta sahanlığı üzerinde çökelmiş çok sayıdaki delta loblarından meydana geldiği anlaşılır. İstif içindeki düzenli ve düzlemsel tabakalı birim delta dış ağız barı (Şekil 18a), buna karşılık kalın tabakalı ve tekne şekilli çapraz tabakalanma gösteren delta kanal dolguları birimi iç ağız barı (Şekil 18b) ortamlarını temsil ederler. Konur Formasyonu, Derik-Mazıdağı yolu üzerinde bulunan Konur Köyü'nün doğusunda uzanan Şıp Deresi boyunca farklı bir fasiyesle temsil edilmiştir. Burada yapılan sedimentolojik çalışmalar bu kumtaşlarının delta kanal dolguları olduğunu ve Zabuk Vadisi içindeki deltaları beslediğini ortaya koymuştur. Konur Formasyonu'nun kalın ve kumtaşı egemen delta fasiyesi her yönü ile hidrokarbon için çok iyi bir rezervuar kaya potansiyeli oluşturur. Özellikle, delta dağıtım kanallarının denize açıldığı kıyı alanlarında çökelen kumtaşı barlarının üzerine transgresif olarak gelen Bedinan Formasyonu'nun tabanındaki şeyllerin organik madde kapsamı yüksek olması durumunda bu formasyonun önemi daha fazla artar ve hidrokarbonlar basınç farkından dolayı aşağı doğru göçerler (Şenalp 2000b, 2006a; Şenalp vd., 2018). Organik maddece zengin kaynak kaya fasiyeslerinin bölgesel deniz transgresyonların en erken aşamasında çökeldikleri anlaşılmıştır. Bu nedenle bu yayında bu transgresyon yüzeylerinin önemi vurgulanmıştır. Bedinan Formasyonu'nun tabanında erken transgresyon süresinde çökelmiş şeyllerin üzerine kalın ve geniş yayımlı masif şeyl ve onun üzerine de ara tabakalı şeyl ve kumtaşı istifi gelir ve önemli bir basınç oluşturur. Kalın ve geçirimsiz olan bu birim geniş yayımlı olduğu için hidrokarbonların düşey yönde göçmesi

zordur, ancak bu istifin faylanma nedeniyle yukarı yönde itilmesi gerekir. Buna karşın, istifin en tabanında bulunan transgresif şeylde ortaya çıkan hidrokarbonların, üzerine geldikleri yüksek enerjili sığ deniz ortamında çökelmiş kumtaşları içine göçmesi daha kolaydır. Kısa bir zaman önce Bismil bölgesinde açılan kuyularda Konur Formasyonu içinde önemli gaz birikimleri keşfedilmiş olup bu rezervuarlar hidrolik çatlatma yöntemiyle üretime açılacaktır.



Şekil 18. a) Konur Formasyonu'nun büyük bir bölümünü oluşturan ve nehir-egemen delta ortamının nehir ağız barlarını oluşturan gözenek ve geçirimsizliği yüksek olan dış ağız barı ve onun üzerine gelen iç nehir ağız barı kumtaşı fasiyesleri. **b)** Delta istifinin en üstünü oluşturan yüksek enerjiye sahip sığ su ortamında çökelmiş, kalın-tabakalı, çapraz tabakalı, orta-iri taneli, iyi-boylanmış, gözenekli ve geçirimli potansiyel rezervuar kumtaşları (Şenalp vd., 2018).

Figure 18. a) Fluvial-dominated deltaic sequence forms the uppermost part of the Konur Formation, consisting of prodelta shales and distributary mouth bar facies. These lithofacies consist of outer distributary mouth bar and inner distributary mouth bar sandstones. **b)** The inner mouth bar sandstones were deposited in a high energy shallow marine environment. The sandstones are thick-bedded, trough cross-bedded, medium- to coarse-grained, well-sorted, porous and permeable, having high reservoir potential (Şenalp et al., 2018).

Konur Formasyonu'nun tabanındaki *Cruziana* iz fosilleri içeren denizel şeyl seviyesinin bölgesel özellikteki Ordovisiyen transgresyonunu (yaklaşık, MDS O10, 485 MYÖ) temsil ettiği anlaşılmış ve formasyonun yaşı Tremadosiyen olarak kabul edilmiştir (Şenalp ve Al-Duaiji, 2001a). Konur Formasyonu üzerine bölgesel bir transgresyonla gelen Bedinan Formasyonu'nun en tabanını oluşturan açık deniz şeyllerinin yaşı ise Llanvirn (yaklaşık 470 MYÖ) olarak tespit edilmiştir (Cobb, 1957; Kellogg, 1960; Yılmaz ve Duran, 1997; Monod vd., 2003). Güneydoğu Anadolu'nun Mardin bölgesindeki Zabuk Vadisi ve Şıp Deresi içinde Şenalp vd. (2018) tarafından tanımlanmış Konur Formasyonu, Toros Dağları kuşağında Konya ilinin Seydişehir ilçesi dolayında ilk kez Blumenthal (1947) tarafından tanımlanan Seydişehir Formasyonu ile kısmen aynı yaş aralığında çökelmiş olduğu düşünülür. Buna rağmen Seydişehir Formasyonu'nun yaşı sürekli olarak değişmektedir. Ayrıntılı paleontolojik çalışmalara dayanarak Seydişehir Formasyonu'nun yaşı Üst Kambriyen-Alt Ordovisiyen olarak tespit edilmiştir (Dean ve Monod, 1970; Özgül, 1971; Özgül ve Gedik, 1973). Zabuk Vadisi içinde ölçülen kesitte bu zaman süresi içinde Sosink ve Konur Formasyonları çökelmiştir. Başlıca şeyl-miltaşı ardalımasından oluşan Seydişehir Formasyonu'nun litolojik özellikleri Konur Formasyonu'ndan çok farklıdır. Bu gerçeklere dayanarak bu çalışmada Erken Ordovisiyen yaşlı ve önemli hidrokarbon potansiyeline sahip istif Konur Formasyonu olarak tanımlanmıştır.

Kambriyen ve Erken Ordovisiyen yaşlı istifler Suriye’de Khanaser Formasyonu, Ürdün’de ise Umm Sahm Formasyonu olarak tanımlanmıştır (Al-Hadidy, 2007).

Bedinan Formasyonu (Orta-Geç Ordovisiyen 470-445 MYÖ)

Bedinan Formasyonu ilk defa Cobb (1957) tarafından Mardin ilinin Kızıltepe ilçesinin 18 km kuzey-batısında tanımlanmış veya Derik ilçesinin yaklaşık 20 km güney-doğusundaki Bedinan (Gürmeşe) köyü civarındaki Orta-Geç Ordovisiyen yaşlı istif için kullanılmıştır. Formasyonun tipik kesiti bu köy ile Yurteri köyü arasında ölçülmüştür (Şenalp vd., 2018). Bedinan Formasyonu, alttaki Konur Formasyonu’nun beyaz renkli, kalın-tabakalı delta ağız barı kumtaşları üzerine transgresif olarak oturur ve istifin tabanı koyu gri renkli, bol graptolit fosilleri içeren açık denizel şeylleri ile temsil edilmiştir. Bu çok önemli bölgesel ölçekteki deniz transgresyon yüzeyi Arap Levhası üzerindeki tüm bölgelerde tanınmış ve bölgesel korelasyonlarda güvenli olarak kullanılmıştır. Bedinan Formasyonu’nun üst kısmı ise Geç Ordovisiyen (Hiransiyen, 445 MYÖ) yaşlı Gondwana buzullaşmasının sebep olduğu aşınma yüzeyi tarafından derince kazılmıştır. Bedinan Formasyonu ile üzerine gelen Yurteri Formasyonu’nun tabanını temsil eden buzul vadisinin oluşturduğu aşınma yüzeyi en belirgin şekilde Bedinan (Gürmeşe) köyünün doğusunda ölçülmüş kesitte görülür. Bedinan Köyü’nün bulunduğu bölgede ise formasyonun önemli bir kısmı Kretase yaşlı Mardin Grubu’nun tabanındaki uyumsuzluk yüzeyi tarafından derince aşındırılmıştır.

Bedinan Formasyonu’nun tipik kesitte ölçülen kalınlığı 638 metredir. Bu ölçülen kalınlık Mardin Grubu’nun tabanındaki Kretase yaşlı uyumsuzluk nedeniyle formasyonun gerçek kalınlığı ölçülen bu değerden daha fazladır. Akçakale-1 kuyusunda da Bedinan Formasyonu Konur Formasyonu’nun delta ağız barı kumtaşları üzerine transgresif olarak

oturur. Formasyonun kalınlığı 843 metre olup alt kısmını oluşturan masif şeyl fasiyesinin kalınlığı 793 metredir. Formasyonun en üstündeki 50 metrelik kısmı kumtaşı ve şeyl araldanmasından yapılmıştır (Yılmaz ve Duran, 1997).

Arazide ölçülen tipik kesitte, Bedinan Formasyonu en altta, başlıca gri renkli şeyl, mikali şeyl, miltaşı ve açık kahve renkli ince-tabakalı (tabaka kalınlığı 10-20 cm arasında), ince-taneli, orta derecede boylanmalı bol fosilli kumtaşlarının düzenli olarak araldanmasından oluşmaktadır (Şekil 19a). İstifin alt kısımlarında şeyl, üst kısımlarında ise kumtaşı fasiyesleri daha egemendir. Kumtaşlarının tabaka kalınlığı ve tane boyu üste doğru artar ve böylece beraber çökeldikleri şeyl ve miltaşı fasiyesleri ile birlikte üste doğru kalınlaşan ve kabalaşan bir paraistif oluşturur (Şekil 19b). Ölçülen bu kesit içerisinde 10 adet paraistif ayırtlanmıştır. Kumtaşları içinde, simetrik-dalga kırışıkları, tümsekli-çapraz tabakalanma, denizel kökenli iz fosiller ve biyotürbasyon yapıları çok yaygın olarak görülür. Büyük ölçekli tümsekli-çapraz tabakaların kalınlığı fazla olup tabanları aşınma yüzeyini temsil eder. Dalgalı aşınma yüzeyleri formasyon içi çakıllarla kaplanmıştır. Bu tabakaların üst kısımları ise enerji seviyesinin düşmesi sonucu çok iyi gelişmiş simetrik dalga kırışıkları ile kaplanmıştır. Bol miktarlarda ve farklı bentonik fosilleri içeren kumtaşları limonitleşme gibi bozuşma özellikleri göstermektedir (Şenalp vd., 2018).

Tüm fiziksel ve biyojenik sedimanter yapılar ve içerdiği litofasiyeslerin yanal yönde devamlı olmaları, Bedinan Formasyonu’nun çok fazla derin olmayan tatlı eğimli kıta sahanlığı üzerinde çöklemiş olduğunu gösterir. İstifin alt kısmını oluşturan şeyller etkin dalga tabanı altındaki kıyı-ötesi ortamında çöklemiştir. İstifin çökme ortamının derinliği üste doğru azalmaktadır. Kumtaşları içinde tümsekli-çapraz tabakalanma, fırtınaların baskın olduğu kıyı-yüzü ortamını işaret eder.



Şekil 19. a) Bedinan Formasyonu bölgesel bir transgresyonla başlar ve tabanında oldukça kalın ve koyu gri renkte masif şeyl fasiyesi çökelmiştir. Bu fasiyesin organik madde yönünden oldukça zengin olması ona kaynak kaya özelliğini kazandırır. **b)** Üste doğru kumtaşı/shyl oranının arttığı, kumtaşı tabakalarının kalınlaştığı ve tane boylarının irileştiği bir istif şeklinde çökelmiştir. Kumtaşları içinde en yaygın sedimenter tümsekli çapraz-tabakalanma, simetrik dalga kırışıklardır (Şenalp vd., 2018).

Figure 19. a) The base of the transgressive Bedinan Formation consists of thick, massive, dark-gray organic-rich open marine shales with potential source rock. **b)** The shale dominated lower parts are gradually overlain by the interbedded sandstone and shale sequence and present a coarsening- and thickening-upward sequence. The most common sedimentary features are hummocky cross-stratification (HCS), and wave and current ripples (Şenalp et al., 2018).

Kıyı yüzü ortamında çökelmiş kumtaşı birimlerinin istifin üst kısımlarında daha kalın ve sık olarak görülmeleri, tabaka kalınlıklarının ve kum tanelerinin ortalama boylarının artması deniz seviyesinin gittikçe sığlaştığını işaret etmektedir. Ölçülen kesit içinde plaj ortamının en üst kısmını oluşturması beklenen ve yüksek enerji ortamını temsil eden kalın-tabakalı kumtaşı birimlerinin buzul vadileri tarafından kesilip aşındırıldığı düşünülmüştür (Şenalp vd., 2018). Bedinan Formasyonu'nun transgresyon yüzeyinin tabanındaki açık deniz ortamında çökelmiş kalın şeyl istifinin hidrokarbonlar için potansiyel kaynak kaya oluşturma olasılığı yüksektir. Bu şeyl fasiyeslerinin üzerine uyumlu olarak gelen kumtaşları ince-tabakalı ince-taneli oldukları ve şeyllerle çok yakın ara-tabakalı olarak çökeltilen için özellikle Mardin bölgesinde potansiyel bir rezervuar fasiyesi oluşturma olasılığı azdır. Buna karşın istifin tabanındaki bölgesel pelajik şeyller içinde oluşan petrol ve gaz alttaki Konur Formasyonu'nun delta kumları içine göçebilir. Bu nedenle transgresif pelajik şeyllerin muhtemel bir ana kaya fasiyesi olabilme özellikleri araştırılmaktadır. Yapılan bölgesel çalışmalar, Arap ve Afrika Platformu üzerinde çökelmiş Paleozoyik istifleri içindeki petrol ve gazın kaynak kaya fasiyeslerinin büyük bir kısmının bölgesel transgresyonların tabanındaki pelajik şeyller olduğu kanıtlanmıştır.

Bedinan Formasyonu'nun tip kesiti boyunca başlıca Kellogg (1960), Dean (1967, 1983), Dean ve Monod (1990) ve Monod vd. (2003) yapılan geniş kapsamlı paleontolojik çalışmalar özellikle trilobit (*Calmenalla boisseli*, *Dreyfussina* sp.), acritarch (*Evittia* sp., ve *Multiplicispharidium* spp.) ve chitinozoan topluluğu *Euconochitina* gr. *lepta*, *Acanthochitina barbata* ve *Acanthochitina nigerica*, topluluğu Ashgill (Geç Ordovisiyen) yaşı için güvenli bir veri oluşturur (Monod vd., 2003). Bu bilgilerin ışığı altında Bedinan Formasyonu'nun yaşı Orta ve Geç Ordovisiyen olarak belirlenmiştir. Bedinan Formasyonu'nun

en tabanını oluşturan açık deniz şeyllerinin yaşı Llanvirn (yaklaşık 470 MYÖ) olarak tespit edilmiş olup, 471–445 milyon yılları arasındaki Llanvirn ve Katiyen katlarını içerir (Dean, 1967, 1983; Şenalp vd., 2018). Bedinan Formasyonu, ayrıntılı stratigrafik çalışmalar ve palinolojik yaş tayinlerine dayanarak, Bedinan Formasyonu güvenli bir şekilde Suudi Arabistan'ın Qasim Formasyonu ile deneştirilmiştir (Şenalp ve Al-Duaiji, 2001a). Qasim Formasyonu'nun en yaşlı Hanadir Üyesi, Bedinan Formasyonu'nun tabanındaki koyu gri renkli graptolitik şeyllerle deneştirilmiştir (Şekil 20). Organik maddece zengin bu şeyl fasiyesi de bölgesel transgresyonun tabanında çökelmiş ve çökme hızı çok hızlı olduğu için denizden gelen mikro organizmalar korunmuş ve hidrokarbonlar için kaynak kaya fasiyesi oluşturmuşlardır. Ortaya çıkan hidrokarbonlar çoğu durumlarda üzerinde çökelmiş oldukları gözenekli ve geçirimli kumtaşları içine göçerler. Bu modelin uygulanmaya başlamasıyla birlikte hidrokarbon arama ve üretim faaliyetlerinde önemli başarılar sağlanmıştır (Şenalp 2006a, 2006b).

Hanadir Üyesi'nin kaynak kaya fasiyesi olarak önem kazanmasıyla birlikte hem yüzey mostralarında hem de sondaj kuyularından alınan karotlar üzerinde paleontolojik ve palinolojik çalışmalar yürütülmüştür. Graptolitlerden *Didymograptus murchisoni* Zonu Hanadir Üyesinin tabanında ve orta kısımlarında yaygın olarak bulunmuş ve Geç Llanvirn yaşı tespit edilmiştir (Vaslet vd., 1987). Kahfah-1 arama kuyusundan alınan karot örneklerinde Hanadir Üyesi'nin alt kısımlarında Llanvirn yaşını gösteren *Siphonochitina Formosa* ve *Laufeldochitina robusta* Chitinozoan fosilleri bulunmuştur (Al-Hajri, 1995). Buna karşın aynı arama kuyusundaki Hanadir Üyesi'nin yukarı kısımlarından alınan örneklerde Llandeilo yaşını gösteren *Linochitina pissotensis*, *Pognochitina spinifera* ve *Hercochitina spp.* Chitinozoan fosilleri bulunmuştur (Al-Hajri, 1995). Hanadir Üyesi'nin tabanındaki bol miktarda *Didymograptus* içeren Llanvirn yaşlı şeyller Bedinan Formasyonu'nun tabanındaki graptolitik şeyller ile deneştirilip

bu bölgesel ölçekte transgresyona neden olan deniz yüzeyi, Şenalp ve Al-Duaiji (2001b) tarafından MDS O30 (470 MYÖ) olarak tanımlanmıştır. Bedinan Formasyonu Irak'ta Khabour Formasyonu, Suriye'de ise altta Swab Formasyonu ve üstte Afandi Formasyonu olarak iki ayrı formasyon olarak tanımlanmıştır. Ürdün'de ise yine altta Hiswah Formasyonu ve üstte Dubaydib Formasyonu olarak iki ayrı formasyona ayrılmıştır.



Şekil 20. Suudi Arabistan'nın Qasim Formasyonu'nun tabanındaki Hanadir ve Kahfah Formasyonlarının oluşturduğu üste-doğru kalınlaşan istif. Bu istif GD Türkiye'nin Bedinan Formasyonu'na karşılık gelir (Şenalp ve Al-Duaiji, 2001b; Şenalp vd., 2018)

Figure 20. Lower coarsening- and thickening-upward wave-dominated progradational sequence of the Qasim Formation, consisting of the Hanadir and Kahfah members of Saudi Arabia. The Hanadir member correlates with the Bedinan Formation of SE Turkey (Şenalp and Al Duaiji, 2001a; Şenalp et al., 2018).

Geç Ordovisiyen (Hirnansiye, 445-444 MYÖ) Gondwana buzullaşmasının önemi

Geç Ordovisiyen kıtasal buzullaşmanın etkileri ve ortaya çıkan çok farklı özelliklerdeki buzul çökelleri, Arabistan ve Afrika Platformları üzerindeki ülkelerde çok yaygın olup bu ülkelerin Erken Paleozoyik istiflerinin önemli bir bölümünü oluşturur. Bu önemli Gondwana buzullaşması

Hiransiyen (445 MYÖ) ile Erken Siluriyen (Ruddaniyen, 444 MYÖ) zamanında ortaya çıkmış ve yaklaşık bir milyon yıl gibi kısa bir süre içinde tüm ülkelerde çok etkili olmuştur. Buzulların erimeye başladığı dönemlerde orta çıkan buzul-flüviyal sistemler geniş yayımlı kıta sahanlıkları üzerinde örgülü delta ortamlarında potansiyel rezervuar kumtaşları çökeltilmişlerdir. Erken Siluriyen (Ruddaniyen, 444 MYÖ) zamanında buzulların tamamen erimesi sonucu büyük hacimlerdeki sular okyanuslara geri dönmüş, deniz seviyesi yükselmiş ve platformlar üzerinde hızlı transgresyonları gelişmiştir. Bu geniş yayımlı deniz transgresyonlarının tabanında organik maddece zengin potansiyel kaynak kaya şeylleri buzul kökenli rezervuar kumtaşları üzerine çökelmiştir (Craig vd., 2009; Craig vd., 2010; Huuse vd., 2012; Girard vd., 2012). Buzul kökenli rezervuar kumtaşları ile kaynak kaya şeyl fasiyesi arasındaki yakın genetik ilişkiler ve özellikle, ortaya çıkan petrol ve gazın hidrostatik basınç farklılıklarından dolayı aşağı yönde gözenekli kumtaşları içine göçmeleri ilk defa (Şenalp, 2006a) tarafından Suudi Arabistan'da açılan arama ve üretim kuyularının ayrıntılı incelenmesiyle ortaya çıkarılmıştır.

Geç Ordovisiyen Gondwana kıtasal buzullaşması ve buzulların erimesi sonucu ortaya çıkan hızlı bölgesel Erken Siluriyen transgresyonunun hidrokarbon yönünden önemi tüm Kuzey Afrika, Suudi Arabistan ve Orta Doğu ülkelerinde çok iyi anlaşılmıştır. Bu amaca yönelik olarak, Cezayir (Hirst vd., 2002; Rubino vd., 2003; Moreau, vd., 2005), Libya (Le Heron vd., 2009; Sayılı vd., 2012), Suudi Arabistan (Vaslet, 1990; Şenalp ve Al-Laboun; Şenalp 2006a), Ürdün (Turner ve Makhlof, 2005) ve Güneydoğu Türkiye'de (Monod vd., 2003; Şenalp vd., 2018; Şenalp ve Tetiker, 2020) gibi ülkelerde ayrıntılı stratigrafik ve sedimantolojik çalışmalar yapılmıştır. Bir milyon yıldan daha kısa sürmüş bu bölgesel buzullaşma olayı, Kuzey Afrika ve Arap Platformu üzerindeki ülkelerin Paleozoyik istifleri

arasında korelasyonlar yapılmasında güvenilir veriler sunar. Bu buzullaşmanın en önemli özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

1. Geç Ordovisiyen zamanında ortaya çıkan kısa süreli buzullaşma olayının etkisiyle, deniz seviyesi yaklaşık 125-130 metrelik bir alçalma göstermiş ve tüm dünya kıyıları söz konusu deniz seviyesi alçalmasından dolayı olarak etkilenmiştir. Deniz seviyesinin alçalmasıyla birlikte sığ kıta sahanlıkları su üstüne çıkmış ve yeni kara alanları oluşmuştur. Yamaç eğiminin, deniz seviyesinin alçalmasına bağlı olarak artması, flüviyal sistemin kıta sahanlığı üzerinde ilerlemesine ve daha da önemlisi, kıta sahanlığı üzerinde yeni vadilerin kazılmasına, daha çok kırıntılı çökellerin aşındırılıp açık denize taşınmasına neden olmuştur. Kıyı çizgisinin, denizin derin bölgelerine doğru ilerlemesiyle birlikte önceden çökelmiş deltalar daha da ilerleme olanağı bulmuştur. Böylece hidrokarbon oluşumu ve birikmeleri için gerekli olan rezervuar kumtaşı ve kaynak kaya şeyl fasiyeslerinin çökeltme alanları genişlemiş ve kalınlıkları önemli derecede artmıştır (Şenalp ve Tetiker, 2020).

2. Buzul vadileri, buzul örtülerinden açık denize doğru birbirlerine paralel olarak uzanırlar. Bu vadilerin oluşum yerleri, gidiş yönleri ve derinlikleri alttaki temelin tektonik, topografik ve litolojik özelliklerinden önemli ölçüde etkilenir. Buzullaşma öncesi, temel üzerinde bir graben çukurluğunun bulunması derin ve düzgün bir buzul vadisinin oluşmasına ve içerisinde çok kalın buzul çökelleri ve buzullaşma dönemi sonrasında organik maddece zengin daha kalın kaynak kaya şeyllerinin çökeltmesini gerçekleştirecektir.

3. Yaklaşık bir milyon yıldan daha kısa süren Ordovisiyen kıtasal buzullaşmasının sona erip buzulların erimeye başlamasıyla birlikte deniz seviyesi hızlı bir şekilde yeniden yükselmiştir. Kıta sahanlığı üzerinde buzulların tabanındaki erime sularının kazdığı derin tünel vadileri buzul-flüviyal kökenli kumlarla doldurulup dar, derin ve

uzun vadi dolguları ortaya çıkmıştır. Bu vadiler ve onların oluşturdukları örgülü deltalar içinde çökelen kumtaşları en verimli rezervuar kaya fasiyesini oluştururlar.

4. Erken Siluriyen (Ruddaniyen, 444 MYÖ) zamanında buzul örtüleri tümüyle erimiş ve bölgesel özellikteki deniz transgresyonu kara yönünde hızlı bir şekilde ilerleyerek ilk aşamada buzul vadilerinin tümüyle doldurulmamış sığ çukurluklarını ve kalın buzul örtüsünün ağırlığı nedeniyle topoğrafik yüzey üzerinde geniş yamalar şeklinde oluşmuş çöküntü alanlarını doldurmuştur. Transgresyonun en erken aşamasında yamalar şeklindeki bu çukur alanlarda oksijensiz (anoksik) ortam koşulları altında çökelen şeyller içindeki mikro-organizmalar iyi korunmuş ve içerdikleri organik madde bozulmamış ve hidrokarbonlara ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu alanlarda tüm Paleozoyik istifi içindeki petrol ve gazın en önemli kaynak kaya fasiyesini oluşturan organik maddece zengin siyah şeyller (hot shale) çökelmiştir (Lüning vd., 2000, 2003, 2005; Şenalp ve Tetiker, 2020).

5. Deniz seviyesinin sürekli olarak yükselmesi sonucu deniz suyundaki oksijen oranı artmış, deniz ortamı dalgalar ve gelgit akıntılarıyla hareketlilik kazanmış ve bu koşullar altında organik maddenin kaynağını oluşturan mikro-organizmalar parçalanmış ve organik madde oksitlenerek kaybolmuştur. Deniz seviyesinin en yüksek olduğu ve iklimin sıcak olduğu süreçte örtü kaya nitelikli karbonat kayaçları çökelmiştir (Şenalp vd., 2018; Şenalp ve Tetiker, 2020).

Gondwana buzullaşmasının petrol ve gaz oluşumu yönünden önemi Suudi Arabistan, Kuzey Afrika, Ortadoğu Ülkeleri ve Güneydoğu Türkiye’de çok iyi anlaşılmış ve son yıllarda bu ülkelerde önemli miktarda petrol ve gaz üretimi yapılmaya başlanmıştır (Craig vd., 2009; Craig vd., 2010; Huuse vd., 2012; Girard vd., 2012). Arazide ve arama kuyularında yapılan stratigrafik

ve sedimantolojik çalışmalar, Paleozoyik istifleri içinde hidrokarbon birikimleri için potansiyel rezervuar oluşturacak kalın buzul-flüviyal kumtaşı birimleri ile üstlerine gelen Erken Siluriyen transgresyonunun tabanında yamalar şeklinde çökelmiş kaynak kaya fasiyesi ile olan genetik ilişkilerini ortaya koymuştur (Şenalp ve Tetiker, 2020).

Suudi Arabistan’ın Geç Ordovisiyen yaşlı buzul çökelleri Zarqa ve Sarah formasyonları olarak adlandırılmıştır. Bu iki farklı özellikteki formasyonlar iki ayrı buzullaşma devrini temsil eder. Zarqa Formasyonu çeşitli bileşim ve buzul tektoniğini yansıtan tümüyle masif ve boylanmasız moren ve tillit gibi geçek buzul çökelleriyle temsil edilmiştir. Petrol ve gaz üretiminin yapıldığı Sarah Formasyonu, batı-doğu ve çok seyrek olarak da güney-kuzey gidişli yaklaşık 40-50 km uzunlukta buzul vadileri ve onların çökelttiği örgülü deltalar ile temsil edilmiştir. Daha sonra bu buzulların erimesi sonucu deniz tabanına düşen malzeme ile denizin normal çökellerinin ara tabakalı olduğu buzul-denizel istiflerle temsil edilmiştir. Buzul kökenli rezervuar kumtaşları üzerine Erken Siluriyen yaşlı organik maddece zengin (%14 TOC) Qalibah Formasyonu’nun Qusaiba Üyesi’nin şeylleri çökelmiştir. (Vaslet, 1990; Şenalp ve Al-Laboun, 2000; Şenalp, 2006a; Şenalp ve Tetiker, 2020).

Irak’ta Geç Ordovisiyen (Hirnansiyen, 445 MYÖ) yaşlı kanal dolguları içindeki altta buzul-flüviyal ve üstte buzul-denizel kökenli kumtaşları, Akkaş-1 petrol üretim kuyusunda Khabour Formasyonu’nun K1 Üyesi olarak tanımlanmıştır (Al-Hadidy, 2007). Yaklaşık 48 metre kalınlıkta olan bu kumtaşı Üst Kalın Kumtaşı üyesi olarak adlandırılmıştır. K1 kumtaşı üyesinin alttaki K2 Üyesi olarak tanımlanan 150 metre kalınlıktaki denizel Üst Kalın Şeyl üyesi ile olan alt sınırı çok keskin olup üste doğru incelen bir çökelleme istifi modeli sunar. Bu üyenin en üstündeki buzul-denizel kumtaşları ile ara tabakalı şeyl

fasiyesi dereceli olarak Akkaş Formasyonu'nun Hoseiba Üyesi'nin tabanındaki Erken Silüryen (Ruddaniyen, 444 MYÖ) yaşlı alt sıcak kaynak kaya siyah şeyl üyesine geçer ve bölgesel transgresyonun tabanını temsil eder.

Ürdün'deki Ordovisiyen-Silüryen sistemi, kuzey Suudi Arabistan'ın Tabuk-Nafud Havzası ve batı Irak'taki Rutbah Yükseliminin bir parçasıdır. Kuzey-doğu Ürdün'deki Risha gaz sahası ve Güney-doğu Ürdün'deki Sirhan-4 kuyularında Akkas Formasyonu içindeki buzul-flüviyal ve buzul-denizel kökenli kumtaşlarından önemli miktarlarda gaz ve hafif petrol üretimi yapılmaktadır (Turner vd., 2005; Naylor vd., 2013). Bu Geç Ordovisiyen yaşlı (Hiransiyen) rezervuar kumtaşları Dubaidib Formasyonu ve Risha gaz sahasında Risha Kumtaşı olarak tanımlanmıştır. Dubaidib Formasyonu içinde buzul vadileri içinde çökelmiş iki belirgin konglomeratik flüviyal kanal-dolgusu çökelleri bulunur. Bu iki buzul-flüviyal kanal dolguları sığ deniz ortamında çökelmiş tümsekli-çapraz tabakalanma gösteren, orta-taneli, mikalı kumtaşları ile birbirinden ayrılmıştır. İstifin altındaki kanal dolgusu Mudawwara Formasyonu, istifin üstündeki kanal dolgusu ise Kisha Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Bu buzul vadileri buzul-öncesi Tubeiliyat Formasyonu'nun denizel çökelleri içine kazılmış ve tektonik kökenli derin grabenler içinde çökelmişlerdir. Silüryen'in tabanındaki sıcak şeyllerin petrol oluşturması için potansiyel kaynak kaya oluşturdukları kanıtlanmıştır. Bu formasyonlar Suriye'nin Tarif (veya Abba) formasyonları (Turner vd., 2005) ile denestirilmiştir.

Güneydoğu Türkiye'de hidrokarbon üretimi yapılan buzul-flüviyal kumtaşları Yurteri Formasyonu olarak tanımlanmıştır (Şenalp vd., 2018; Şenalp ve Tetiker, 2020). Önceki çalışmalarda bu buzul çökelleri Bedinan Formasyonu'nu oluşturan denizel istifler içine dahil edilmiş ve hidrokarbon potansiyelleri araştırılmamıştır. Şenalp (2006a) Suudi Arabistan'ın tüm

bölgelerinde açılan arama ve üretim kuyularında yapmış olduğu çalışmalardan kazandığı deneyimle Güneydoğu Türkiye'nin Paleozoyik istiflerini Mardin ve Diyarbakır bölgelerinde önce yüzey mostralarında ve daha sonra da çok sayıdaki arama kuyularından alınan karotları ve kuyu loglarını incelemiştir. Suudi Arabistan'ın Geç Ordovisiyen (Hiransiyen, 445 MYÖ) Sarah Formasyonu'nu oluşturan buzul kökenli, iyi boylanmış, gözenekli kumtaşlarından üretim yapılan petrol ve gazın kaynak kayasının Qalibah Formasyonu'nun Erken Silüryen (Rhuddaniyen, 444 MYÖ) yaşlı Qusaiba Üyesi olduğu petrol parmak izi (oil finger print) yöntemi uygulanarak kanıtlanmıştır. Günümüzde, Ürdün'e komşu Tayma-Tabuk bölgesinde ve Merkezi Arabistan'daki Ghawar sahasında açılan kuyularda Sarah Formasyonu'ndan önemli gaz ve petrol üretimi yapılmaktadır. Bu formasyondan alınan karotlar hemen incelendiği zaman gaz kabarcıklarının gözeneklerden fişkırdığı gözlemlenmiştir. Bazı kuyulara ait veriler ve kuyu logları Şenalp ve Tetiker (2020) tarafından yayınlanmıştır. Söz konusu olan bu çökelleme modeli, petrol ve gazın aşağı yöndeki göçmesi Sarah Formasyonu ile benzer özellikleri gösteren ve aynı yaş aralığında çökelmiş Yurteri Formasyonu'nun örgülü buzul deltası ortamında çökelmiş kumtaşı rezervuarlarında gözlemlenmiştir. Bu kumtaşlarının üzerine Erken Silüryen transgresyonunun tabanında çökelmiş Dadaş-1 üyesinin siyah renkli organik maddece zengin kaynak kaya şeylleri çökelmiştir. Bu fasiyesin üzerine kalın ve geçirimsiz örtü karbonatları (Dadaş-2) ve onun da üzerine kalın, masif ve organik madde içermeyen delta-önü (prodelta) şeyl fasiyesi (Dadaş-3) gelir. Dadaş-1 kaynak kaya şeyllerinde oluşan yüksek basınca sahip petrol veya gazın yukarı yöndeki göçmesi özellikle geçirimsiz örtü karbonatları kalın şeyl fasiyesi tarafından engellenir. Kaynak kaya içinde ortaya çıkan iç basınç ve üzerine gelen kalın istifin basıncı nedeniyle yukarı yönde göçme olanağı bulamayan hidrokarbonlar çok kolay ve kısa

yönden aşağı yönde basıncın daha düşük olduğu gözenekli ve geçirimli buzul-flüviyal kumtaşlarının içine göçerler. Yurteri Formasyonu'ndan üretim yapılan kuyularda Dadaş Formasyonu'nun en üst kısmını oluşturan kalın-orta tabakalı, orta-iri taneli çok iyi boylanmalı delta-ağzı kum barları olarak çökelmiş Hazro rezervuarında üretim yapılacak hidrokarbon bulunmayışı aşağı yöndeki göçün en iyi kanıtıdır. Bu göç modeli iyi anlaşılabilir elde edilen verilerle daha önceden açılmış fakat Yurteri Formasyonu'na kadar ulaşmadan bırakılmış kuyular yeniden derinleştirilmeye başlanmıştır. Yurteri Formasyonu'ndan günde 600 varil üretim yapılabilen kuyulardaki (Bahar-1) kumtaşlarının kalınlığı 27-40 metre arasında değişmektedir. Bu kuyulardan üç tanesine ait kuyu logları ve aralarındaki stratigrafik korelasyon Şenalp ve Tetiker (2020) tarafından yayınlanmış ve ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Ayrıntılı jeofizik çalışmalar, stratigrafik kesitler ve yapı kontur haritaları Hazro Rezervuarı'ndan üretilen hidrokarbonların, Dadaş-1 üyesinin tabanındaki kaynak kaya şeyl fasiyesinin etkili bir faylanma sonucu deltayik kumtaşlarına yakın bir duruma geldiği ve hidrokarbonların yanal veya yukarı yönde doğrudan veya fay düzlemleri boyunca göçmüş olduğu gerçeğini ortaya koymuştur (Şenalp vd.,2018).

Geç Ordovisiyen Gondwana buzullaşmasının oluşturduğu rezervuar kumtaşları ile onların üzerine çökelen Erken Siluriyen yaşlı kaynak kaya şeyl fasiyeslerinin genetik ilişkileri ve bu ilişkilerin hidrokarbon oluşumları yönünden olan önemi Suudi Arabistan ve Güneydoğu Türkiye'de açılmış çok sayıda üretim kuyularından bu yayının birinci yazarı tarafından elde edilen gerçek verilere dayandırılmıştır. Bu formasyonların stratigrafik ve sedimentolojik özellikleri aşağıdaki bölümlerde tartışılmıştır.

Yurteri Formasyonu (Hiransiyen, 445–444 MYÖ)

Yurteri Formasyonu ilk defa Şenalp vd. (2018) tarafından Bedinan (Gürmeşe) köyü ile Yurteri köyleri arasında çok iyi mostra veren ve Bedinan Formasyonu'nu derince kesen buzul vadileri içinde çökelmiş masif, tabakalanmasız, çakıllı kumtaşlarından ve paralel tabakalı kumtaşlarından yapılmış kalın ve hidrokarbon yönünden çok önemli olan istif tanımlamak için önerilmiştir (Şekil 18). Bu birim daha önce kuyu logları üzerinde, Bedinan Formasyonu'nun en üstünde (Bedinan-4) adı altında resmi olmayan bir şekilde tanımlanmıştır. Geç Ordovisiyen buzullaşmasının etkilerinin tüm Güneydoğu Türkiye'de anlaşılması üzerine söz konusu buzul kökenli çökeller (genellikle buzul-denizel), Sarız-Saimbeyli (Kayseri), Anamur-Alanya-Ovacık arasındaki bölgede ve Mardin'in batısında Halevikdere Formasyonu olarak tanımlanmış ve tüm bu bölgelerdeki istifler Ghienne vd. (2001), Monod vd. (2003), ve Ghienne vd. (2010) tarafından ayrıntılı bir şekilde incelenmiş fakat bu formasyonun hidrokarbon yönünden olan önemi tartışılmamıştır. Bedinan (Gürmeşe) ile Yurteri köyleri arasında dar bir alanda mostra veren 330 metre derinlikteki Yurteri buzul vadisi yukarıda belirtilen çalışmalarda yer almamıştır. Halevikdere Formasyonu üzerine yapılan tüm çalışmalar Şenalp ve Tetiker (2020) tarafından tüm ayrıntılarıyla ve eksiksiz olarak açıklanmıştır

Bu bölgede ve Derik-Mazıdağı karayolunun üzerinde mostra veren buzul-flüviyal sistemin çökeltiği örgülü delta kumtaşlarının sedimentolojik özellikleri incelenerek rezervuar potansiyelleri ortaya çıkarılmıştır. Bu amaca yönelik olarak Mardin, Batman, Diyarbakır ve Bismil bölgelerinde açılan arama ve üretim kuyularından alınan karot ve loglarda buzul kökenli birimler, tabanlarındaki belirgin aşınma yüzeylerinin yardımıyla kolayca tanımlanmış ve böylece izopak haritalarının güvenli bir şekilde hazırlanması sağlanmıştır (Şenalp vd., 2018;

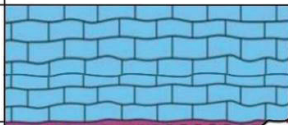

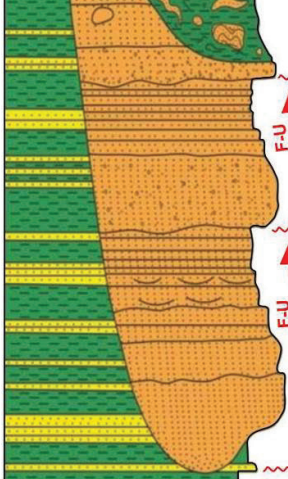




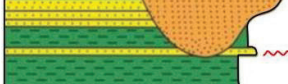








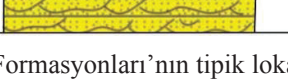





Şenalp ve Tetiker, 2020). Yurteri Formasyonu'nun tabanı, Geç Ordovisiyen (Hiransiyen, 445 MYÖ) zamanında ortaya çıkan Gondwana kıtasal buzullaşması ile ilişkili olarak derince kazılmış, U-şekilli buzul vadilerinin tabanında oluşan aşındırma yüzeyidir. Yurteri Formasyonu'nun üzerine buzullaşmanın tümüyle sona ermesiyle birlikte Erken Siluriyen (Ruddaniyen, 444 MYÖ) zamanında tüm bölgeleri etkisi altına alan deniz transgresyonunun tabanında organik madde kapsamı çok yüksek olan ve bu nedenle de tüm Paleozoyik istifi için potansiyel kaynak kaya oluşturan Dadaş Formasyonu çökelmiştir.

Yurteri Formasyonu'nun tipik kesiti Gürmeşe (Bedinan) köyünün yaklaşık 3 km doğusundaki Bedinan Formasyonu'ndan ölçülen tipik kesitin devamıdır (Şekil 21). Kesitin başlangıç noktası, Bedinan Formasyonu'nun en üst kısmında bulunan yeşilimsi gri renkli denizel şeyllerin içine kazılmış buzul vadilerini dolduran masif ve kalın tabakalı, çakıllı kumtaşlarının tabanıdır. Tipik kesitin en üst noktası ise Mardin Gurubu karbonatlarının tabanındaki koyu kırmızı renkli Kretase diskordans yüzeyidir. Yurteri Formasyonu kökensel (genetik) ilişkili üç belirgin buzul fasiyesi ile temsil edilmiştir. Bunlar: 1. Tünel-vadisi çökelleri, 2. Buzul-flüviyal örgülü delta (braid delta) çökelleri ve 3. Buzul-denizel çökeller.

1. Tünel-vadisi çökelleri: Bu fasiyesi temsil eden çökeller, buzulların tabanındaki erime sularının kazdığı derin tünel vadileri içinde çökelmiş olup, Geç Ordovisiyen (Hiransiyen, 445 MYÖ) zamanında ortaya çıkan Gondwana kıtasal buzullaşmasının önemli fiziksel ve sedimantolojik özelliklerini temsil eder. Tipik kesitte, Yurteri Formasyonu, Bedinan Formasyonu'nun denizel çökelleri içine kazılmış, K45°D yönünde uzanan U-şeklindeki dar ve derin bir buzul vadisi içinde çökelmiştir (Şekil 22a ve b). Bu tünel vadisi çökelleri Kretase yaşlı Mardin Grubu'nun karbonatları tarafından örtüldüğü için

vadiler içindeki buzul çökellerinin yanal fasiyes değişimlerini kuzeydoğu yönünde gözlemlemek olanağı yoktur. Bu bölgeye en yakın buzul çökelleri Yurteri köyünün yaklaşık 50 km kuzeyinde Derik-Mazıdağı kara yolunun üzerinde geniş alanlar kaplayan buzul-flüviyal sistemlerin çöktüğü, örgülü delta ortamlarının yanal ve düşey yönde istiflenmiş kanal dolgusu kumtaşlarıdır.

Yurteri buzul vadisinin iyi belirlenmiş bu gidiş yönü Ürdün ve KB Suudi Arabistan ülkelerinde mostra veren aynı yaştaki buzul vadilerinin gidiş yönlerine paraleldir. Buzul vadisinin içini dolduran, 330 metre kalınlıktaki masif veya kalın-tabakalı, çakıllı kumtaşı ve kaba taneli kumtaşından yapılmış buzul kökenli bu istif yalnızca kesit ölçülen dar bir bölgede görülür. Ölçülen kesit, çok belirgin aşınma yüzeyleriyle sınırlandırılmış, üç ayrı üste-doğru incelen birimlerden oluşur. Aşınma yüzeylerinin üzerine gelen ilk çökeller genellikle masif veya kalın-tabakalı ve çok iri-taneli, kötü boylanmış çakıllı kumtaşlarıdır (Şekil 22a, b). Buzulların tabanında sürüklenen çakılların yüzeyleri sürtünme nedeniyle Şekil 22b de görüldüğü gibi, kesilmiş (faceted), cilalanmış (polished) ve çiziklenmiştir (striated). Vadinin en tabanındaki çakıllı kumtaşları, buzulların ilerlemesi aşamasını temsil eden gerçek buzul çökelleri olup erime sularıyla kısmen yıkanmıştır. Vadinin büyük bir bölümü, yatay, tablamsı-tabakalı, orta- ve ince-taneli, orta dereceden boylanmalı, kısmen çapraz-tabakalı kumtaşlarıyla doldurulmuştur. Hidrokarbon birikimleri için önemli potansiyel rezervuar oluşturacak bu kumtaşları, buzul-arası dönemlerde buz kütlelerinin geri çekilmeleri ve kısmen erimesiyle birlikte ortaya çıkan suların oluşturduğu buzul-flüviyal sistemler bünyesine çöktürülmüştür. Formasyonun en üstünde ve tepeye yakın bir bölgesinde granit blokları (Şekil 19c) bulunur ve kısmen korunmuş çizikler buzul vadilerinin KD- GB yönünde uzandığını göstermiştir (Şenalp ve Tetiker, 2020).

Stratigrafi		Litoloji	Açıklamalar ve Çökeltme Fasiyesleri	İstif Stratigrafisi
Kretase	Mardin Grubu		Dolomitik kireçtaşı	
Orta - Geç Ordovisiyen (470-445 MYÖ)	Bedinan Formasyonu (843 m) + Yurteri Formasyonu (330 m)		Toprak profili	Kretase Aşınma Yüzeyi
			Koyu gri, kısmen yapraklanmalı, kısmen masif şeyl (içerisinde buzul tabanından düşmüş büyük bloklar ve çakıllar bulunur)	Buzul Erimesi
Erken Ordovisiyen	Konur Fm		Kalın tabakalı, kötü boylanmış, cilalı ve çizikli çakıllar içeren kumtaşı	Buzul Aşınma Yüzeyi
			Kalın tabakalı, kötü boylanmış, cilalı, çizikli çakıllar içeren kumtaşı	
			Düzensel tabakalanmalı, iyi boylanmış, orta taneli, kısmen çapraz-tabakalı, buzul-fluviyal kökenli kumtaşı	MDS 020 (470 MYÖ)
			Kalın tabakalı, iri taneli, cilalı, çizikli çakıllar içeren kötü boylanmış kumtaşı (Buzulların kestigi, dar ve derin vadilerin tabanında çökelmiştir).	
			Ara tabakalı, şeyl ve kumtaşı istifi (Şeyl, açık gri renkli, kısmen miltaşı laminasyonları içerir. Kumtaşları, ince-orta tabakalı, ince-orta tanelidir. Simetrik dalga kırışıklıkları ve tümsekli çapraz tabakalanma ile organizma iz fosilleri içerir)	
	Ara tabakalı, gri renkli şeyl ve ince taneli, ince tabakalı kumtaşı (kıyı ötesi ve kıyı yüzü ortamı)			
	İnce tabakalı, ince taneli, dalga kırışıklı kumtaşı-şeyl ardalanması			
	Yeşilimsi-gri, masif şeyl kıyı ötesi fasiyesi			
				
				
				
				
				
				
				
				
				
				
				

Şekil 21. Bedinan ve Yurteri Formasyonları'nın tipik lokasyonlarında ölçülmüş stratigrafik ve sedimantolojik kesiti (Şenalp vd., 2018).

Figure 21. The stratigraphic and sedimentologic section of the Bedinan and Yurteri formations were measured at their localities (Şenalp et al., 2018).



Şekil 22. a, b) Yurteri buzul vadisinin Bedinan Formasyonu ile olan taban ve vadinin doğu ve batısındaki yan sınırları. Buzul vadisi, Bedinan Formasyonu içine 330 metre kazılmıştır. U-şeklindeki vadi K45D gidişlidir. c) Buzul vadisi dolgusu içindeki cilalanmış ve çizilmiş çört, kuvars çakılları ve granit bloğu (Şenalp vd., 2018).

Figure 22. a, b) The erosional contacts at the base and on the east and west sides of the glacial valley of the Yurteri Formation cut 330 meters into the Bedinan Formation. The U-shaped valley runs in N45E direction. c) There are polished and striated chert and quartz pebbles and granite blocks in the sandstones (Şenalp et al., 2018).

Yurteri Formasyonu'nun yeraltındaki kalınlığı bölgeden bölgeye ve buzul çökme ortamının yerine göre önemli değişiklikler gösterir. Hiç kuşkusuz dar fakat derin kazılmış vadiler bölgenin en güneyinde, Suriye, Irak, Ürdün ve Suudi Arabistan gibi ülkelerin yer aldığı Arap Platformu'nun kuzeyinde bulunur. Bu vadiler Güneydoğu Anadolu bölgesinde, Akçakale-1 (273 m), Harran-1 (295 m), Ceylanpınar-1 (290 m), Yurteri mostrası (330 m), Ambarcık-1 (110 m), Gercüş-2 (82 m), Siverek-2 (96 m), Girmeli-1(80 m), ve Kaldırım-1 (53 m) kuyularında rastlanmıştır. Bu vadiler Güneybatı-Kuzeydoğu yönünde uzanır ve Ceylanpınar-1, Yurteri mostrası (ölçülmüş kesit), Ambarcık kuyuları aynı bir buzul vadisinin içindedir. Güneyden kuzeye doğru gidildikçe vadilerin derinlikleri (kalınlıkları) azalır, genişlikleri artar ve sonunda tamamen yelpaze şeklinde yayılarak buzulların erimesi sonucu

ortaya çıkan akarsu sisteminin oluşturduğu delta ortamlarına geçerler.

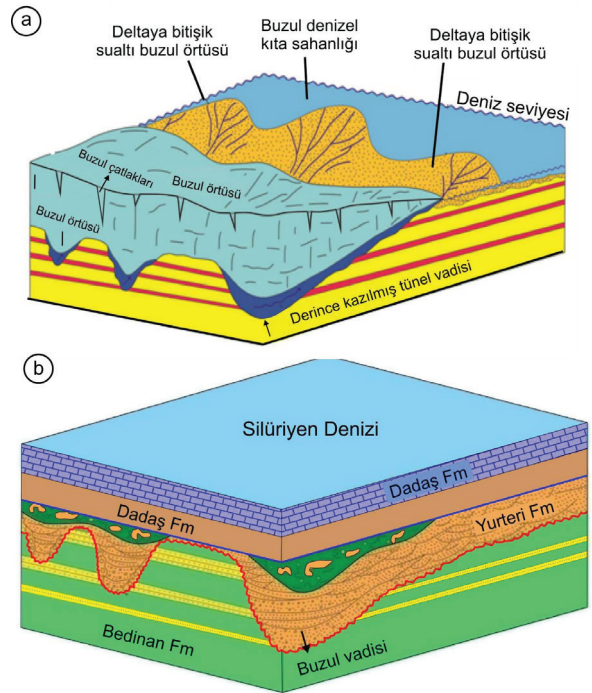
2. Buzul-fluviyal örgülü delta çökelleri:

Yurteri Formasyonu'nun buzul kökenli kumtaşı fasiyesi, buzulların eriyip geri çekilme aşamasında tünel vadilerinin ön cephelerinde buzul erime sularının geliştirdiği fluviyal sistemin çökelttiği örgülü deltalar içindedir ve Yurteri köyünün yaklaşık 50 km kuzeyinde Derik-Mazıdağı kara yolunun üzerinde geniş alanlar kaplar. İstifin tabanı Bedinan Formasyonu'nu keser, üst kısmı ise Kretase yaşlı Mardin Grubu'nun tabanındaki uyumsuzluk yüzeyi tarafından önemli derecede aşındırılmıştır. Burada ölçülen kesit 20 m kalınlıkta olup, düşey ve yanal yönlerde istiflenmiş, kama- veya mercek-şekilli, orta-ince taneli, iyi-boylanmış, hafifçe çapraz tabakalanma gösteren kanal-dolgusu kumtaşlarıyla temsil edilmiştir.

Dar fakat derin kazılmış buzul vadileri başlıca Batman ve Diyarbakır bölgelerinde geniş yayımlı örgülü deltalar oluştururlar. Bu örgülü deltalar içinde yüksek enerji ortamında çökelmiş kumtaşları, Dadaş Formasyonu'nun tabanında çökelen organik maddece zengin şeyl fasiyesi tarafından örtüldüğü için çok önemli rezervuar fasiyesi oluştururlar. Arama kuyuları bilinçli olarak doğru lokasyonlara yerleştirdiği takdirde verimli üretim kuyuları ortaya çıkar. Önemli miktarda petrol üretimi Bahar-1 (27 m), Derindere-1 (38 m), Çeltikli-1 (31 m), Akköy-1 (36 m), Babahaki-2 (20 m), Yarımca-1 (25 m), Bismil-1 (22 m), Mollacabir-1 (23 m), Çaytepe-2 (21 m), ve K. Migo-2 (19 m) kuyularından yapılmaktadır (Şenalp vd., 2018).

3. Buzul-denizel çökeller: Yurteri Formasyonu'nun bu fasiyesi, buzul vadilerinin içini dolduran buzul-flüviyal kumtaşlarının üzerine uyumlu olarak oturur ve Yurteri Formasyonu'nun tipik kesitin 3 km doğusunda yer alır. İklimin ısınmasıyla birlikte buzulların erimeye başlaması ve deniz seviyesinin yükselmesi sırasında buzul-denizel işlemlerin müşterek etkileri altında sığ deniz ortamında çökelmiştir. Bu fasiyes Monod vd. (2003) tarafından Sarız (Kayseri) bölgesinde tanımladıkları aynı yaştaki Halevikkere Formasyonu'na karşılık gelir. Bu istif 75 m kalınlıkta olup kökensel ilişkili üç ayrı çökelfasiyesiyle temsil edilmiştir. İstifin tabanındaki buzul aşınma yüzeyi üzerine oturan fasiyes 15 m kalınlıkta olup, masif veya kabaca-tabakalanmalı, konglomeratik kumtaşı ile temsil edilmiştir (Şekil 21). İçinde 1-10 cm çapında cilalanmış ve çizikli kuvars çakılları, granit, aplit ve riyolit çakılları ve 1-4 m çapında sıkça kıvrımlanmış ve tümüyle denizel şeyl birimi içine gömülmüş büyük kumtaşı blokları içerir. Bu fasiyesi temsil eden çökeller, eriyen buzların buzuldan sürükledikleri ve deniz ortamı içine taşıdığı çökeller olarak yorumlanmıştır. Bu istifin üzerine gelen fasiyes 60 m kalınlıkta olup alttaki orta-taneli kumtaşından üste doğru miltaşı ve koyu-gri renkli laminalı

şeyllere geçiş gösterir. İstifin en üstündeki birim koyu gri renkli, masif veya laminalı şeyl olup içinde küçük çakıl boyu diyamiktler içerir. Bu çökeller gerçek bir buzul-denizel fasiyesini temsil eder ve buzulların büyük ölçüde erimesiyle ilişkili olarak deniz seviyesinin yükselmesini işaret eder. Deniz seviyesinin yüksek bir düzeye eriştiği durumda çökelen organik maddece zengin şeyller Mardin Grubu'nun tabanındaki uyumsuzluk yüzeyi tarafından aşındırılmıştır (Şenalp vd., 2018; Şenalp ve Tetiker, 2020). Bedinan Formasyonu, Yurteri buzul vadileri ve Erken transgresyon denizi ile bunların üzerine gelen Dadaş Formasyonu aralarındaki stratigrafik ve sedimentolojik ilişkiler blok diyagramlar olarak sunulmuştur (Şekil 23a ve b).



Şekil 23. a) Buzulların deniz seviyesinin altında aşındırması sonucu ortaya çıkan buzul vadilerinin oluşum modeli. **b)** Geç Ordovisiyen yaşlı buzul çökelleri (derin buzul vadileri, buzul-flüviyal örgülü delta ve buzul-denizel) Erken Silüriyen transgresyonu tarafından Dadaş Formasyonu'nun tabanında çökelmiş

organik maddece zengin şeyl fasiyesi (Şenalp vd., 2018; Şenalp ve Tetiker, 2020).

Figure 23. a) Predicted depositional model of the formation of the glacial valleys through sub-glacial erosion below sea level. **b)** Late Ordovician glacial deposits (deep glacial valley, glacio-fluvial braid delta and glacio-marine) are directly overlain by organic rich shale facies (hot shale facies of the Dadaş Formation) at the base of the Early Silurian transgression (Şenalp et al., 2018; Şenalp and Tetiker, 2020).

Dadaş Formasyonu (Silüriyen (444 – 419 MYÖ))

Dadaş Formasyonu ilk defa Kellogg (1960) tarafından Diyarbakır ilinin Hazro ilçesinin kuzey-batısında bulunan Dadaş köyü dolayında tanımlanmıştır. Dadaş Formasyonu, Geç Ordovisiyen (Hirnsaniyen, 445 MYÖ) zamanında tüm Gondwana Kıtası kaplayan kalın kıtasal buz kütlelerinin hızlı bir şekilde erimesini takiben Silüriyen (Ruddaniyen, 444 MYÖ) zamanında ortaya çıkan ve tüm kıtayı kaplayan bölgesel ölçekte transgresyona neden olan denizin içinde çökelmeye başlamıştır. Dadaş Formasyonu'nun Kayayolu Formasyonu ile olan üst sınırı belirgin bir aşınma yüzeyidir. Bu tektonik kökenli aşınma yüzeyi Geç Silüriyen (Pridoli, 423 MYÖ) ile Erken Devoniyen (Lokoviyen, 419 MYÖ) zamanında ortaya çıkan Kaledoniyen Orojenezi sonucu gelişmiştir. Bu yüzey, farklı kalınlıklardaki kırmızı renkli karasal çökellerle temsil edilmiştir.

Dadaş Formasyonu'nun tipik kesiti, Hazro ilçesinin 6,23 km kuzey-batısında yer alan Dadaş köyüdür (38°16'29,3"K, 40°43'07,6"D). Kesitin başlangıç noktası köyün yaklaşık 300 metre doğusundadır. Ölçülen bu kesit üste doğru Devoniyen ve Permiyen yaşlı genç formasyonları da içerecek şekilde devam ettirilmiş ve Gomanibrik Formasyonu'nun masif karbonatlarının tabanında sonlandırılmıştır. Tipik kesitin ölçülen kalınlığı 135 metredir, fakat istifin tabanındaki yaklaşık 20 m kalınlığa sahip olan ve önceki çalışmalarda Dadaş-1 üyesi tanımlanmış organik maddece zengin şeyl fasiyesi burada açığa çıkmamıştır. Formasyonun en üstünü oluşturan

Hazro kumtaşları Kaledoniyen orojenezinin neden olduğu aşınma yüzeyi ile kesilmiştir. Tüm istif Kayayolu-4 kuyusunda 495 metre olarak tespit edilmiştir. Özdemir ve Ünlügenç (2013) Dadaş Formasyonu'nun mostra veren yerlerde eksiksiz olarak temsil edilmediğini ve kalınlığının da 90-220 m arasında değiştiğini rapor etmişlerdir. Bu veriler de Kaledoniyen Orojenezi'nin güçlü ve bölgesel aşındırma etkisini ortaya koyar.

Kaledoniyen Orojenezi tüm Arabistan Platformu üzerinde hem yüzeyde hem de açılan tüm kuyularda tespit edilmiştir. Aşınmanın etkisi bölgeden bölgeye hatta birbirine iki yakın Silüriyen istifi arasındaki görülen kalınlık değişimleriyle kolayca tespit edilmiştir. Bu kalınlık değişimlerin nedeni istifin üstten kesilmesi sonucudur. Irak-Ürdün sınırında Silüriyen istifinin kalınlığı 2.300 metre olarak tespit edilmiştir. Bu önemli kalınlığa karşın Kuzey Doğu Ürdün'ün Suriye-Ürdün sınırı boyunca tüm Silüriyen istifi (örneğin Risha-2 kuyusu) Kaledoniyen orojenezinin neden olduğu aşınma yüzeyi ile kesilmiştir. Güneydoğu Suriye'de Silüriyen istifi kısmen veya tümüyle aşındırılmıştır. Ortadoğu ülkelerinde görülen Üst Silüriyen ile Alt Devoniyen arasındaki tektonik kökenli uyumsuzluk ilişkisi aynı ölçüde Suudi Arabistan istifleri içinde de gözlemlenmiştir. Bu ülkede Dadaş Formasyonu'na karşılık gelen Qalibah Formasyonu'nun alttaki Qusaiba ve üstteki Sharawra Üyeleri Erken Devoniyen (Lohkoviyen) yaşlı Tawil Formasyonu'nu oluşturan örgülü nehir sistemiyle çökelmiş orta-iri taneli, tekne şekilli çapraz-tabakalı ve çok iyi boylanmış rezervuar kumtaşları tarafından kesilmiştir. Çok yaygın durumlarda Tawil Formasyonu'nun tabanında oluşan tektonik kökenli aşınma yüzeyi organik maddece zengin ve Paleozoyik istiflerinin en önemli kaynak kayasını oluşturan (%17 TOC) Erken Silüriyen (Ruddaniyen) yaşlı Qusaiba Üyesine kadar inmiştir. Böylece, burada oluşan hidrokarbonların kolayca ve kısa yoldan üste doğru kumtaşları içine göçmesine olanak sağlamıştır (Şenalp 2006a, 2006b).

Dadaş Formasyonu alttan üste doğru düzenli, devamlı ve dereceli geçişli olarak şeyl, kireçtaşı, miltaşı ve kumtaşı fasiyesleri ile temsil edilmiştir (Şekil 24). Bu silisiklastik kayalar, tabaka kalınlığının, tane-boylarının ve içerdikleri sedimanter yapıların üste doğru düzenli olarak arttığı, dalga ve gelgit olaylarının egemen olduğu

bir delta ortamında çökelmiş paraistif takımını (parasequence set) temsil eder. Güneydoğu Türkiye’de açılmış olan kuyularda, Dadaş Formasyonu alttan üste doğru Dadaş-I üyesi, Dadaş-II üyesi ve Dadaş-III üyesi şeklinde gayri resmi olarak üç üyeye ayrılmıştır

Stratigrafi		Litoloji	Açıklamalar ve Çökelme Ortamı	İstif Stratigrafisi
PERMİYEN	Assiliyen - Lopingiyen (299-252)	Gomanibirik Fm		MDS P20 (260 MYÖ)
		Kaş Fm	Ara tabakalı şeyl, kömürlü şeyl, kömür tabakaları ve halic ortamında çökelmiş kalın kanal dolgusu kumtaşları	Pre-Kaş Uyumsuzluğu
		Kuşdamı	Kırmızı renkli, masif kumlu çamurtaşı	
DEVONİYEN	Lokoviyen (419-411)	Kayayolu Fm	Ara tabakalı kireçtaşı, dolomit, algal dolomit ve şeyl (Havza tamamen doldurulup kuruduğu zaman, evaporitler çökelmiştir)	Hersiniyen ve Pre-Kuşdamı Uyumsuzluğu
SİLURİYEN	Ruddaniyen - Pridoli (444-423)	Dadaş Formasyonu	Alta ince tabakalı, üste kalın tabakalı, iyi boylanmış rezervuar kumtaşı (delta ağzı kum barları)	Kaledoniyen Uyumsuzluğu (419 MYÖ)
			Üste doğru kalınlaşan delta istifi	
ORDOVİSİYEN	Hirmansiyen	Yurteri Fm	Yeşil renkli kısmen laminalı, şeyl, miltaşı kumtaşı aralanması (İstifin tabaka kalınlığı ve tane boyu üste doğru artar).	Deniz taşkın yüzeyi
			Masif dolomitik kireçtaşı veya ara tabakalı fosilli kireçtaşı ve siyah şeyl örtü karbonat fasiyesi	Deniz taşkın yüzeyi
			Organik madde kapsamı yüksek şeyl fasiyesi	MDS S10 (444 MYÖ)
			Buzul-flüviyal kumtaşları	

Şekil 24. Dadaş Vadisi (Diyarbakır, Hazro) boyunca ölçülen Geç Paleozoyik istiflerinin stratigrafisi ve çökelme ortamlarını temsil eden düşey log (Şenalp vd., 2018).

Figure 24. Stratigraphy and depositional environments of the Late Paleozoic successions measured along the Dadaş Valley (Şenalp et al., 2018).

Şenalp vd. (2018) Hazro-Dadaş bölgesinde ve çok sayıda arama kuyuları üzerinde yapmış olduğu çalışmalardan elde edilen verilerin ışığı altında Dadaş Formasyonu gayri resmi dört üyeye bölünmüştür. Aynı ortam içinde birbirleriyle yakın genetik ilişkili olarak çökelmiş bu litofasiyeler istifin altından üstüne doğru aşağıdaki şekilde sıralanıp isimlendirilmiştir. 1. Organik şeyl (hot shale) fasiyesi, 2. Örtü karbonat (cap carbonate) fasiyesi, 3. Ara-tabakalı şeyl ve kumtaşı fasiyesi ve 4. Deltayik kumtaşı fasiyesi (Hazro kumtaşı). Özdemir ve Ünlügenç (2013), Hazro ilçesi dolayındaki tipik kesitte yaptıkları çalışmalarda Dadaş III üyesi ile üzerine gelen sığ deniz kumtaşları arasındaki dokanağın uyumlu olduğunu gözlemlemiş olmalarına rağmen, önceki gayri resmi tanımlamaya uyarak, söz konusu delta kumtaşlarını Hazro Formasyonu ve yaşını da Devoniyen olarak yayınlamışlardır.

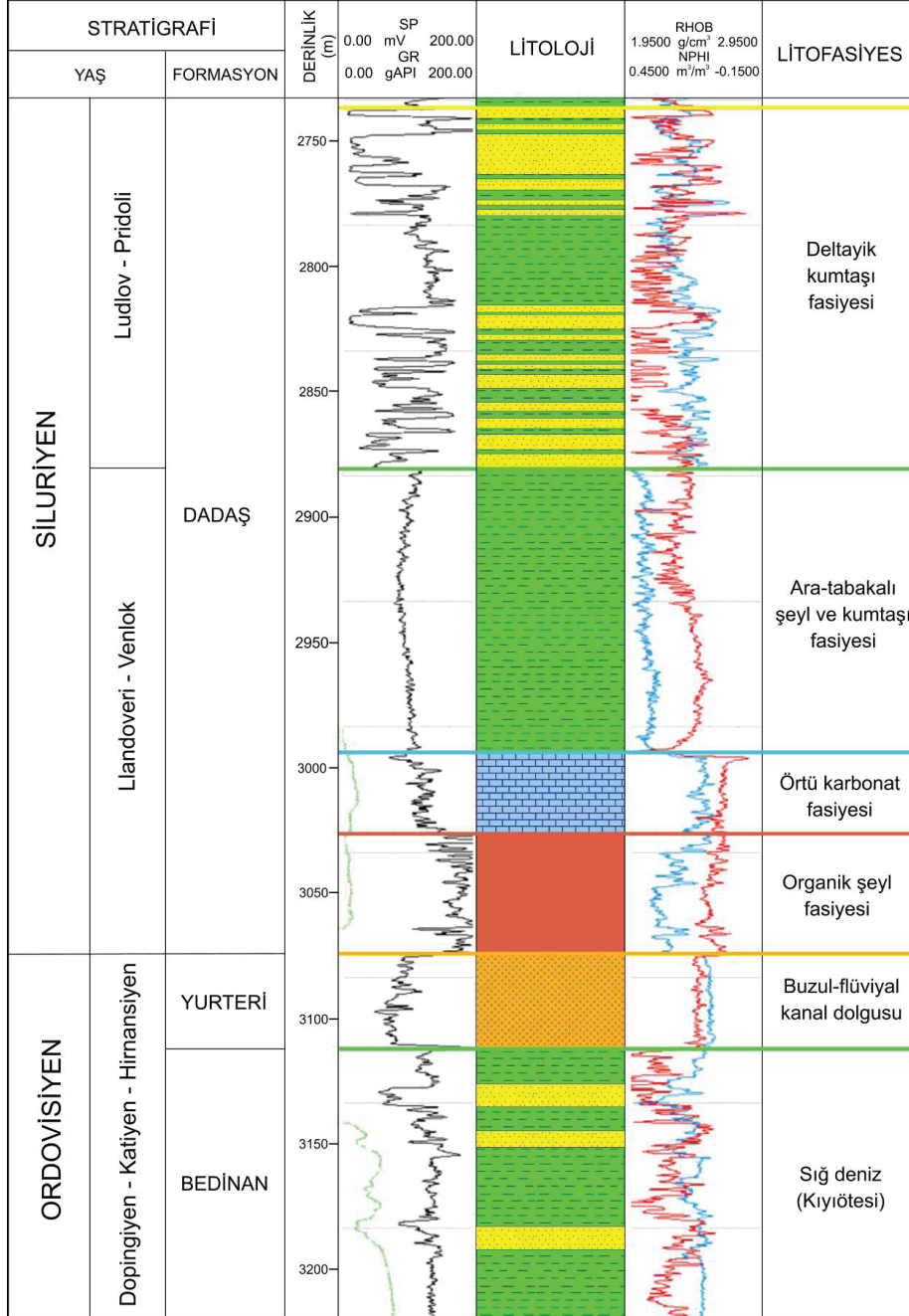
Dadaş Formasyonu'nu temsil eden tüm Silüriyen istifi, istifin altındaki Yurteri Formasyonu ve Bedinan Formasyonu'nun en üst kısmı Derindere-1 kuyusunda 2.740 ile 3.222 metre aralarında tespit edilmiştir (Şekil 25). Bu istifi oluşturan kaya türleri farklı elektrik logları ve kuyuda kesilmiş kırıntılıların incelenmesiyle güvenli bir şekilde tanımlanmıştır. Bu istifin en altındaki Bedinan Formasyonu 3.110 ile 3.222 metre arasında uzanır ve genellikle ara tabakalı masif şeyl ve ince kumtaşı tabakaları ile temsil edilmiş olup tipik kesitte ölçülen birimlere çok benzemektedir. Yurteri Formasyonu'nun Bedinan Formasyonu ile arasındaki buzul kökenli keskin aşınma yüzeyi 3.110 metrede çok belirgindir. Geç Ordovisiyen (Hirnsaniyen, 445MYÖ) yaşlı Yurteri Formasyonu 38 metre (3.074-3.112 m) olup buzul kanalı içinde çökelmiş masif ortairi taneli kumtaşları ile temsil edilmiştir. Dadaş Formasyonu'nun en tabanındaki organik şeyl fasiyesi 42 metre (3.032-3.074 m) ile yüksek GR özelliği ile çok belirgindir. Örtü karbonat fasiyesi 38 m (2.994-3.032 m), ara-tabakalı şeyl ve kumtaşı fasiyesi 114 metre (2.880-2.994 m) olarak tespit

edilmiştir. Dadaş Formasyonu'nun en üstünü oluşturan Hazro kumtaşı veya Hazro rezervuarı olarak tanımlanmış ve bu deltayik kumtaşı fasiyesi Derindere-1 kuyusunda 142 metre (2.738-2.880 m) olarak çok iyi temsil edilmiştir. Bu delta istifi 34 metre kalınlıktaki bir şeyl birimi ile birbirinden ayrılmış iki delta dağıtım kanalı kum barları ile temsil edilmiş olup bu özelliği nedeniyle Dadaş tipik kesitinde ölçülmüş Hazro kumtaşı fasiyesine çok benzerlik gösterir.

1. Organik şeyl fasiyesi: Bu Ruddaniyen (544 MYÖ) yaşlı fasiyesi, Silüriyen istifinin en tabanında ve Yurteri Formasyonu'nun buzul-flüviyal kumtaşların üzerinde çökelmiştir ve Suudi Arabistan'ın Qusaiba Üyesine karşılık gelir (Şekil 26). Bu fasiyesi, Dadaş köyü yerleşme alanının altında kapalı olduğu için tüm açıklığı ile yüzeye çıkmamıştır. Buna karşın, Adıyaman ilinin Gerger ilçesinin kuzeyindeki Çat Yaylası olarak adlanan bölgedeki küçük bir alanda iki fay sistemi arasında yükselmiş ve burada inceleme olanağı sağlamıştır. Çok koyu veya siyah renkli, masif, paralel laminalı kil boyu malzemeden yapılmış, hiç miltası veya kumtaşı laminalanması içermeyen ve organik maddece çok zengin, petrol ve doğal gazın potansiyel kaynak kayası olarak bilinen şeyller, önceki çalışmalarda Dadaş-1 üyesi olarak adlandırılmıştır (Şekil 27). Bu önemli kaynak fasiyesi Diyarbakır, Batman ve Bismil bölgelerinde açılan kuyularında radyoaktif özelliklerinin yüksek olması nedeniyle GR loglarında kolayca tanınabilir. Ürdün'de Silüriyen yaşlı Batra Formasyonu'nun en tabanındaki organik maddece zengin kaynak kaya şeyl fasiyesi içine bulunan bol graptolit fosilleri yardımıyla bu Silüriyen istifinin tabanının Erken Llandovery (Ruddaniyen) yaşında olduğu anlaşılmıştır. Tüm Gondwana Kıtası üzerinde yer alan ülkelerin Paleozoyik yaşlı hidrokarbon birikimlerinin kaynak kayasını oluşturan bu önemli fasiyesi Yarımca-1 (71 m), Bahar-1 (45 m), Bismil (54 m), Derindere-1 (42 m) olarak tespit edilmiştir. Suudi

Arabistan'da bu kalın bir istif oluşturan bu organik maddece çok zengin bu şeyl fasiyesi (%14 TOC) Qalibah Formasyonu'nun Qusaiba Üyesi (Şekil

26) olarak tanımlanmıştır (Şenalp ve Al-Duaiji, 2001a; Şenalp, 2006a; Şenalp vd., 2018).



Şekil 25. Diyarbakır bölgesinde açılan Derindere-1 kuyusunda tüm Dadaş Formasyonu'nun temsil edildiği Derindere-1 kuyusu içindeki elektrik logları.

Figure 25. Various logs representing the complete Dadaş Formation in the Derindere-1 well, drilled in Diyarbakır region.



Şekil 26. Suudi Arabistan'ın Silüriyen istifini oluşturan Qalibah Formasyonu'nun Qusaiba Üyesi'nin tabanında çökelmiş organik maddece zengin kaynak kaya şeyl fasiyesi (Şenalp 2006a; Şenalp vd., 2018).

Figure 26. The organically rich potential source rock and hot shale facies of the Qusaiba Member of the Qalibah Formation deposited during the Early Silurian transgression (Şenalp 2006a, Şenalp et al., 2018).



Şekil 27. Dadaş Formasyonu'nun tabanını oluşturan siyah renkli, organik madde yönünden çok zengin kaynak kaya şeyl fasiyesi bazı arama kuyulardan alınan karotlarda incelenmiştir (Şenalp vd., 2018).

Figure 27. The cores of organic-rich potential source rock facies deposited at the base of the Dadaş Formation were studied, as cut from the exploration wells (Şenalp et al., 2018).

2. Örtü karbonat fasiyesi: Beyaz renkli, tümüyle kavkı parçalarından ve genellikle kireçtaşından yapılmış olan bu fasiyes Dadaş-2 üyesine karşılık gelir. Bu 40 m kalınlıktaki karbonat fasiyesi masif veya kalın-tabakalı olabildiği gibi siyah şeyl fasiyesi ile ara tabakalı olarak da çökelmiş olabilir. Arama kuyularının incelenmesi sonucu, bu fasiyesin bazı bölgelerde çok daha ince veya hiç çökmemiş olduğu anlaşılmıştır. Örtü karbonat fasiyesi, bölgesel ölçekte transgresyona neden olan Silüriyen denizinin ulaşabildiği en yüksek seviyeyi temsil eder. Örtü karbonat kayaçlarının çok kalın ve geçirimsiz olduğu durumlarda, istifin tabanında oluşan petrol ve gaz istifin en üstündeki deltayık kumtaşlarına göçemez ve basınç farkından dolayı aşağı doğru buzul-flüviyal kumtaşları içine göçer. Bu tür göçme mekanizması Geç Ordovisiyen buzullaşmasının hidrokarbon yönünden olan önemlerinin çok iyi anlaşılmasını sağlamıştır. Güneydoğu Türkiye'de Geç Ordovisiyen yaşlı kumtaşlarından (Yurteri Formasyonu) üretim yapılan kuyularda etkili bir geçirimsiz örtü kaya oluşturan karbonat kaya fasiyesi Yarımca-1 (12 m), Bismil (27 m), Derindere-1 (39 m) ve Harman-1 (39 m) olarak tespit edilmiştir.

3. Ara-tabakalı şeyl ve kumtaşı fasiyesi: Bu fasiyes Dadaş Formasyonu'nun en kalın bir bölümünü oluşturur, alt ve üst sınırları dereceli geçişlidir (Şekil 25, Şekil 28a). Ölçülen tipik kesitte kalınlığı 41 m olduğu halde, Kayayolu-4 kuyusunda 425 metre ve Derindere-1 kuyusunda 114 metre olarak tespit edilmiştir. İstif tümüyle şeyl ve kumtaşı araldanmasından yapılmış olmasına rağmen alt kısımlarında açık gri renkli şeyl ve üst kısımlarında ince-tabakalı, ince-taneli, simetrik dalga kırışıkları ile birlikte organizma iz

fosilleri içeren kumtaşı ve şeyl araldanması daha egemendir. İstifin en üstündeki kalın-tabakalı delta-ağzı kumtaşı litofasiyesi ile birlikte deltayik bir istif oluşturur. Bu istif içinde belirgin bir kıyı-ötesi masif şeyl fasiyesi ile ayrılmış iki belirgin üste doğru kalınlaşan paraistif gözlemlenmiştir. Bu kalın ve geçirimsiz istif hidrokarbonların yukarı yönde göçmelerini etkili bir şekilde engeller. Faylanmanın mevcut olduğu bazı durumlarda bu göçme gerçekleşebilir ve petrol veya gaz üstteki Hazro Kumtaşları içinde kapanlanır (Şenalp ve Tetiker, 2020). Dadaş köyü yakın çevresindeki dar bir alanda mostra veren Hazro kumtaşlarının tümüyle biyodegradasyona uğramış petrolle doymuş oldukları göz önüne alındığında, yukardaki göç senaryosunun yeniden gözden geçirilmesini gerekli kılmaktadır. Çünkü göç sırasında var olan ve göç için etkili olmuş fay zonlarının da bölgede bulunması gerekmektedir. Bu faylar, tüm kuyular arasında yapılan stratigrafik enine kesitlerde ve 3D jeofizik profillerinde tanımlanmıştır. Buna karşın, zaman kısıtlaması ve danışmanlık projesi tüm Paleozoyik istiflerini kapsadığı için mevcut fayların incelenmesi mümkün olmamıştır.

Ürdün'de Siluriyen istifini temsil eden Batra Formasyonu'nun üst kısmında bulunan *Monoclimacis flumendosar* ve *Pristograptus dubius* fosilleri Dadaş Formasyonu'nun Ara-tabakalı şeyl ve kumtaşı fasiyesine karşılık gelen istifin yaşını Orta Wenlok olarak belirlemiştir (Andrews vd., 1991).

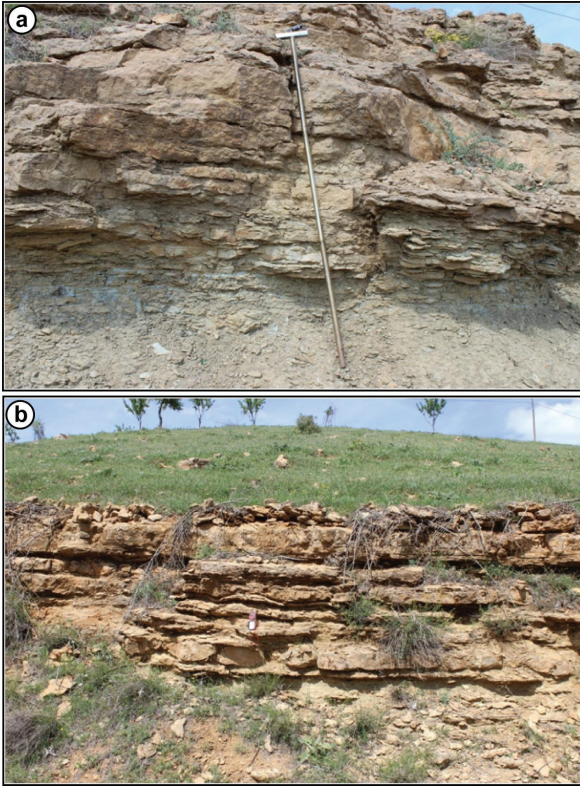
4- Deltayik kumtaşı fasiyesi (Hazro Kumtaşı): Ölçülen Dadaş tipik kesitinde 55 m kalınlıkta ölçülmüş bu fasiyes, alttaki ara-tabakalı şeyl ve kumtaşı fasiyesi ile dereceli geçişlidir ve genetik ilişkilidir (Şekil 25 ve Şekil 28a). Hazro kumtaşı kıyı yönünde ilerleyen deltayik istifin en üst bölümünü oluşturur ve ekonomik yönden Paleozoyik istifin en önemli bir unsurudur. Bu fasiyes, deniz ortamının dereceli olarak sığlaşması ve denize gelen kum miktarının ve tane-boylarının önemli ölçüde artması sonucu kıyı çizgisinin

sürekli olarak deniz yönünde ilerlemesi sonucu gelişen regresif bir istifin en sığ bölümünde delta-ağzı kum barları olarak çökelmiştir. İstifin alt kısmını oluşturan düzlemsel tabakalı, ince-orta taneli, simetrik dalga kırışıkları ve organizma iz fosilleri içeren istif dış-delta ağzı kum barları olarak çökelmiştir (Şekil 28a ve b). Bu kumtaşları dereceli olarak daha sığ ortamda çökelmiş yüksek-eğimli çapraz tabakalanma gösteren, orta-iri taneli, çok iyi boylanmış iç-delta ağzı kum-barlarına geçer. Hazro rezervuarının önemli bir bölümünü oluşturan bu birim çoğu durumlarda belirgin iki ayrı lobdan oluşmuştur (Şekil 29). Bu lobların her biri kıyı ötesi şeyl fasiyesi ile ayrılmış dış-delta ağzı kum barlarını ve. Delta ağzı kum barlarının üzerine ince bir delta ovası düzlüğü çökelleri gelir. Söz konusu olan delta ağzı kum-barı kumtaşları Hazro-Dadaş karayolunun doğu tarafında ve yol kenarında çok iyi mostra verir ve kumtaşı içindeki tüm sedimanter yapılar kolayca gözlemlenerek bu kumtaşı fasiyesinin çökme ortamının doğru yorumlanmasında çok büyük bir katkı sağlar (Şekil 30a, b). Elde edilen bu güvenli verilerin ışığı altında Dadaş deltasının çökmesinde flüviyal, dalga ve gelgit olayları aynı derecede etkili olmuştur.

Kayayolu Formasyonu (Devoniyen, 419–359 MYÖ)

Diyarbakır ilinin Hazro ilçesinin 17 km kuzey batısında ve Dadaş köyünün 3,5 km kuzeyinde mostra veren Devoniyen istifi, alttan ve üstten önemli tektonik olayların neden olduğu aşınma olaylarını temsil eden bölgesel diskordans yüzeyleriyle sınırlandırılmıştır. İstifin Siluriyen yaşlı Hazro kumtaşı fasiyesi ile olan alt sınırı belirgin bir aşınma yüzeyidir. Bu tektonik kökenli-aşınma yüzeyi Geç Siluriyen (Pridoli, 423 MYÖ) ile Erken Devoniyen (Lohkoviyen, 419 MYÖ) zamanında ortaya çıkan Kaledoniyen Orojenezi'nin neden olduğu aşınma yüzeyini temsil eder. Bu aşınma yüzeyi üzerinde farklı kalınlıklarda kırmızı renkli karasal kalkerli

kumtaşları çökelmiştir. Silüriyen istifinin derin arama kuyularında tespit edilen çok farklı kalınlık değişimleri ve özellikle hidrokarbonlar oluşturan Hazro kumtaşı fasiyesinin kısmen veya tümüyle aşındırılmış olması Kaledoniyen Orojenezi'nin olumsuz etkisinin bir tespitidir. Bu nedenle Şenalp vd. (2018) söz konusu olan Kaledoniyen Orojenezi'nin bölgesel nitelikteki olumsuz etkisini ortaya çıkarmak için bu yüzeyin ayrıntılı olarak yapı kontur haritasının hazırlanmasının önemini vurgulamıştır.



Şekil 28. a) Dadaş Formasyonu'nun en üst kısmında delta dağıtım kanallarının çökelttiği dış delta-ağız kum barları ile ara-tabakalı kumtaşı ve şeyl fasiyesi arasındaki dereceli geçiş dokunağı. b) Orta-tabakalı, ince-orta taneli dış delta ağzı kum barı kumtaşı fasiyesi (Şenalp vd., 2018).

Figure 28. a) The gradual contact between the interbedded shale and sandstone facies of the overlying outer distributary mouth bar sandstones of the deltaic facies (Hazro Sandstone) in the uppermost part of the

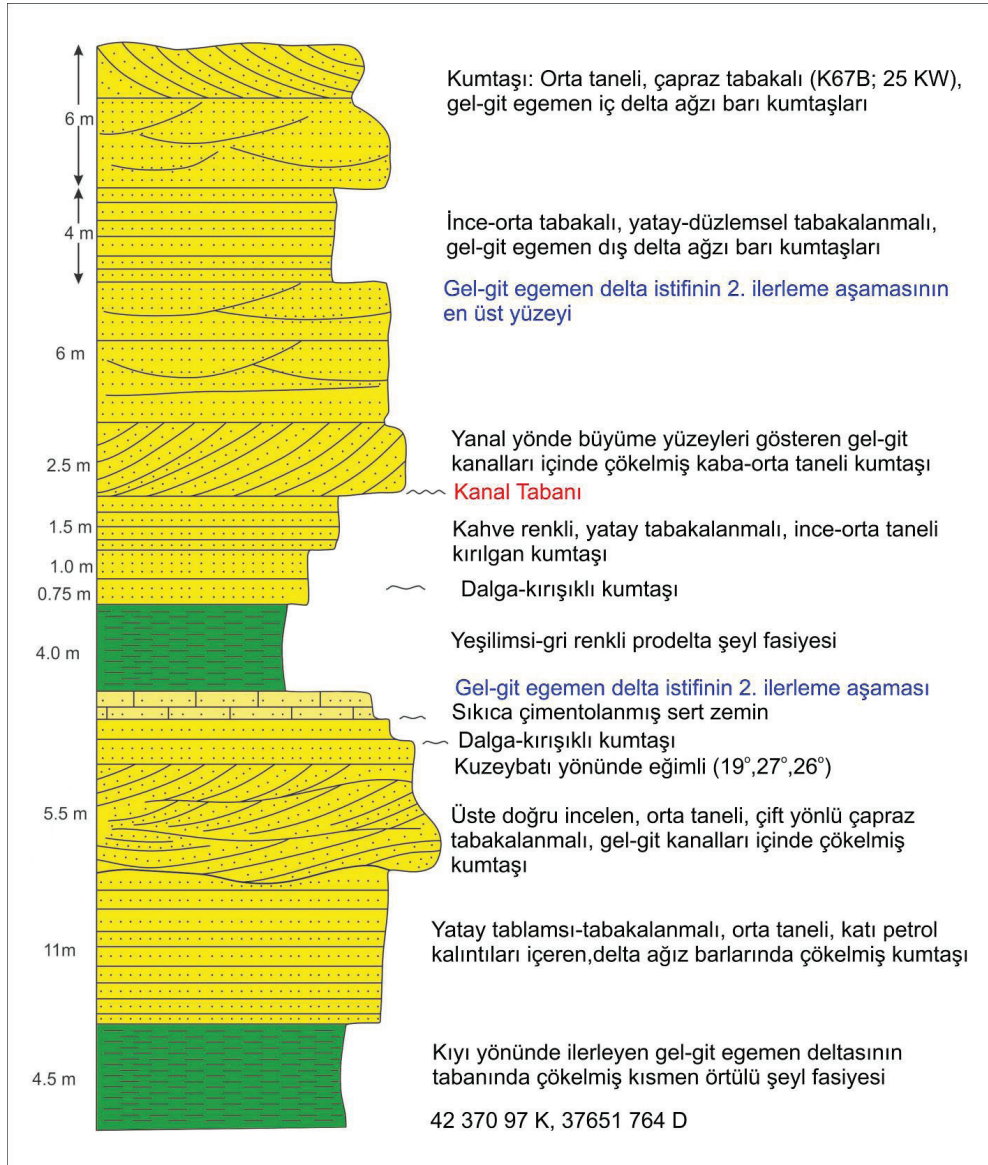
Dadaş Formation. b) Medium-bedded, thin-medium grained outer distributary mouth bar sandstone facies (Şenalp et al., 2018).

Devoniyen istifinin üst sınırında bulunan derin aşınma yüzeyinin etkisi daha önemli ve belirgin olup tüm Gondwana kıtası üzerindeki tüm ülkelerin Paleozoyik istiflerinde bazı formasyonların eksik olmasıyla kolayca tanınmıştır. Permo-Karbonifer zamanında ortaya çıkan tektonik kökenli Hersiniyen Orojenezi (yaklaşık 305 MYÖ) ve onu takip eden Permo-Karbonifer yaşlı Gondwana buzullaşması (yaklaşık 300 MYÖ) sırasında derin kesilmiş buzul vadilerinin bu aşınmalara neden olan olaylar olduğu anlaşılmıştır. Bu önemli tektonik ve buzullaşma olaylarının ortak etkileriyle Hazro bölgesinde çökelmiş olan Karbonifer-Permokarbonifer ve Üst Devoniyen istiflerini tümüyle kesip aşındırmıştır (Şekil 31). Suudi Arabistan'da, Hersiniyen Orojenezi'nin güçlü aşındırma etkisi sonucu, Erken-Orta Devoniyen yaşlı Tawil Formasyonu'nun karasal kumtaşları, açısal bir uyumsuzluk yüzeyi ile Erken Silüriyen yaşlı açık deniz ortamında çökelmiş Qusaiba Üyesi'nin şeylleri üzerine oturur (Şekil 32). Geç Permiyen zamanında çökelmiş karasal özellikteki Kuşdamı ve sığ deniz ve kıyı fasiyesi özelliğindeki Kaş Formasyonu'nun taban yüzeyleri de Gondwana Kıtası üzerinde yer alan tüm ülkelerde tanınmıştır. En belirgin aşınma yüzeyi Kuşdamı Formasyonu'nun tabanında olup çoğu durumlarda bu formasyon alt Devoniyen istifi üzerine doğrudan oturur. Bu nedenle Devoniyen istifinin formasyon tanımlaması istifin oldukça iyi korunduğu arama kuyularında yapılmıştır.

Kayayolu Formasyonu ilk defa Bozdoğan vd. (1987) tarafından Diyarbakır bölgesinde açılan Kayayolu-2 ve Kayayolu-4 arama kuyularında tanımlanmıştır. Formasyonu'nun Kayayolu-2 kuyusundaki kalınlığı 188 metredir. Formasyonu'nun alt ve üst sınırları tüm Gondwana kıtasında gözlemlenebilen tektonik kökenli bölgesel aşınma yüzeyleriyle temsil edilmiştir.

(Şenalp, 2006b; Şenalp vd., 2018). Kayayolu Formasyonu'nun Dadaş Formasyonu ile olan alt sınırı Kaledoniyen Orojenezi ile ortaya çıkan belirgin bir aşınma yüzeyidir. Üst sınırı ise benzer şekilde tektonik kökenli Hersiniyen Orojenezi (305 MYÖ) ve bunu talip eden Gondwana buzullaşmasının (yaklaşık, 300 MYÖ) ortaya

çıkardığı bölgesel aşınma yüzeyleri ile temsil edilmiştir (Şenalp vd., 2018). Ölçülen kesit ve bazı arama kuyularında Kayayolu Formasyonu'nun üstüne Erken Permiyen (Artinskiyen, 290 MYÖ) yaşlı, karasal ortamda çökelmiş kırmızı renkli masif çamurtaşı, kumtaşı ve bir miktar evaporitik seviyeler içeren Kuşdamı Formasyonu gelir.



Şekil 29. Dadaş Formasyonu'nun en üst kısmında delta dağıtım kanallarının çökelttiği iç-delta ağzı kum barlarından ölçülmüş stratigrafik ve sedimentolojik kesit (Şenalp ve diğ., 2018).

Figure 29. Measured stratigraphic and sedimentologic section from inner-delta distributary mouth bar sandstones, deposited by distributary channels in the uppermost part of the Dadaş Formation (Şenalp et al., 2018).



Şekil 30. a, b) Dadaş Formasyonu'nun en üst kısmında iç- delta ağzı kumbarları olarak çökelmiş kumtaşları (Hazro Rezervuarı), Hazro-Dadaş yolu üzerinde çok güzel mostra verir (Şenalp, vd., 2018).

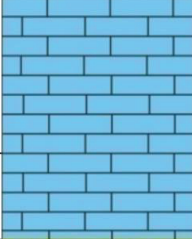










Figure 30. a, b) The inner-delta distributary mouth bar sandstones of the Hazro Reservoir forming the uppermost part of the Dadaş Formation are well-exposed along the Hazro-Dadaş highway (Şenalp et al., 2018).

Kayayolu Formasyonu, Dadaş Formasyonu'nun en üst kısmını oluşturan Hazro kumtaşı ile Gomanibrik Formasyonu arasında uzanan ve iyi yüzeylemeler veren bir kesitte (42 37695 K, 37 651 504 D) kalınlığı 42 metre olarak ölçülmüştür. İstifin tabanı, bölgesel uyumsuzluk yüzeyini temsil kısmı kırmızı renkli karasal çamurlu kumtaşları üzerine oturur. Koyu gri renkli 4m kalınlıktaki masif şeyl birimi Erken Devoniyen (Lochkoviyen) bölgesel deniz transgresyonunun tabanında çökelmiştir. Bu birim üste doğru dereceli olarak 6m kalınlıkta, ince-tabakalı, ince-taneli, simetrik dalga kırışıklıkları ve iz fosilleri içeren plaj ortamında çökelmiş kumtaşlarına geçer. Bu kumtaşlarının üzerine uyumlu olarak

18m kalınlıkta ve seyrek olarak ince kumtaşı tabakaları içeren laminalı şeyller gelir. Bu denizel istif uyumlu olarak 10 m kalınlıkta, masif görünümlü, sarımsı gri renkli sığ deniz ortamında çökelmiş algal stromatolitik resifal kireçtaşları ile örtülmüştür (Şekil 33a ve b). Formasyonun en üstünü oluşturan istif 6m kalınlıkta olup yeşilimsi gri renkli karbonatlı şeyl (marn) ile temsil edilmiş. Üst kısmı Kuşdamı Formasyonu'nun tabanını temsil eden uyumsuzluk yüzeyi tarafından kesilmiştir. Bu bölgede ölçülen Kayayolu istifi, Hazro ilçesinin kuzeyinde Dadaş ile Kuşdamı köyleri arasında yanal yönde kesiksiz bir şekilde devamlı olup aynı fasiyeslerle temsil edilmiştir. Kayayolu Formasyonu'nun yaşının Devoniyen olması yönünde hiçbir kuşku yoktur, fakat bu formasyonun alt ve üst sınırlarının bölgesel aşınma yüzeyleri ile temsil edilmesi nedeniyle formasyonun yaşı bölgeden bölgeye önemli değişiklikler gösterebilir ve bu nedenle bölgesel ölçekte korelasyon yapmak olanağı yoktur.

Kuşdamı Formasyonu (Erken-Orta Permiyen, 290 – 269 MYÖ)

Kuşdamı Formasyonu, ilk defa Şenalp vd. (2018) tarafından Hazro ilçesinin İncekavak mahallesinin (38°064'23,18"K., 40°90'30,7"D.) Kuşdamı Mezrası'ndan gayri resmi olarak Şenalp vd. (2018) tarafından resmi olarak tanımlanmıştır. Kayayolu Formasyonu'nun resifal karbonatları ile Kaş Formasyonu'nun tabanındaki kömürlü şeylleri arasında yer alan koyu kırmızı renkli karasal çökeller çok belirgin olarak Dadaş ile Gomanibrik köyleri arasında devamlı bir kuşak şeklinde uzanır (Şekil 25). Bu formasyon, Hazro bölgesinde açılan Varınca-1 (61 m), Katin-2 (43 m), Güney Hazro- 1 (31 m), Güney Hazro- 4 (30 m), Didan-1 (22 m), Bismil-1 (10 m) kuyularında tespit edilmiş, kuyu loglarında ve bu kuyuların bazılarında alınan karotlarda koyu kırmızı renkli masif çamurtaşları ile ara tabakalı olarak çökelmiş evaporitik (genellikle anhidrit) seviyelerinin bulunmasıyla kolayca tanınmışlardır (Şenalp vd., 2018).

STRATİGRAFİ		KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	LİTOLOJİK TANIMLAMA	ÇÖKELME ORTAMI
YAŞ	BİRİM				
PERMO-TRİYAS	GOMANİBRİK FORMASYONU	60		Kireçtaşı: Beyaz-açık gri, iyi boylanmalı	Açık sığ deniz
PERMİYEN (Vordiyen-Kapitanien)	KAŞ FORMASYONU	50		MDS P20 (260 Ma) Kumtaşı: Keskin taban yüzeyli, üste doğru incelen iri-çok ince taneli, üst yüzeyi dalga kırışıklı	Kıyı deniz ortamı (Haliç kanalları içeren kıyı ovası)
		40		Ara-tabakalı Şeyl ve Kömür: Koyu gri-siyah yapraklı şeyl	
		30		Kumtaşı: Keskin taban yüzeyli, üste doğru incelen orta-ince taneli, üst yüzeyi dalga kırışıklı	
		20		Şeyl: Koyu gri-siyah yapraklı, piritik, kömürlü şeyl, ince tabakalı ve dalga kırışıklı kumtaşları ile ara tabakalıdır	
		10		Kumtaşı: Keskin tabanlı, çok ince taneli, dalga kırışıklı	
		0		Şeyl: Koyu gri-siyah kömürlü	
PERMİYEN (Kunguriyen Rodaniyen)	KUŞDAMI FM	10		Kumtaşı: İnce-çok ince taneli, üste doğru kabalaşan para-istif Şeyl: Koyu gri-siyah kömürlü Kumtaşı: İnce taneli, tümsekli-çapraz tabakalı Şeyl: Yeşilimsi-gri, yapraklı	Derin kanal çökeltileri
PERMİYEN (Kunguriyen Rodaniyen)	KUŞDAMI FM	10		Çamurtaşı: Kırmızı renkli, masif, kısmen mil ve kum içerikli, yeraltında evaporitli seviyeler	Karasal Playa
DEVONİYEN	KAYAYOLU FM	10		Şeyl: Yeşilimsi gri, yapraklı	Açık Deniz
				Algal stromatolitik dolomitik kireçtaşı	

Şekil 31. Hazro (Diyarbakır) bölgesinde mostra veren Kayayolu Formasyonu (Devoniyen) ile Kaş Formasyonu (Geç Permiyen) arasında ölçülen stratigrafik ve sedimentolojik kesiti temsil eden log (Şenalp vd., 2018).

Figure 31. Measured stratigraphic and sedimentologic sections between the Kayayolu Formation (Devonian) and Kaş Formation (Late Permian) in the Hazro (Diyarbakır) area (Şenalp et al., 2018).



Şekil 32. Suudi Arabistan'ın Al Jawf bölgesinde yüzey mostrası veren Erken Devoniyen yaşlı Tawil Formasyonu ile Qalibah Formasyonu'nun Erken Silüriyen yaşlı Qusaiba Üyesi arasında Kaleoniyen Orojenez sonucunda ortaya çıkan aşınma yüzeyi (Şenalp 2006b)

Figure 32. Caledonian erosional unconformity surface between the Early Devonian Tawil Formation and the Early Silurian Qusaiba Member exposed in the Al Jawf region of Saudi Arabia (Şenalp, 2006b).

Kuşdamı Formasyonu'nun Kayayolu Formasyonu ile olan alt sınırı ve Kaş Formasyonu ile olan üst sınırı tüm Arap Platformunda görülen tektonik kökenli bölgesel aşınma yüzeylerini temsil eder. Neotetis Okyanusu'nun açılmasıyla birlikte Kaş Formasyonu'nun denizel çökelleri Kuşdamı Formasyonu'nun karasal çökelleri üzerine oturur. Arazide ölçülen tipik kesitte, Kuşdamı Formasyonu'nun kalınlığı 32,10 metre, fakat Varınca-1 kuyusunda 61 metre ve masif görünümlü koyu kırmızı renkli çamurtaşları ve bunların içindeki mercek şekilli tatlı su ortamında çökelmiş kireçtaşları ile temsil edilmiştir (Şekil 34a ve b). Bu bölgelerde açılan arama kuyularında bu çökeller ile ara tabakalı olarak kalınlıkları 2 ile 5 metre arasında değişen evaporitli seviyeler vardır. Bu formasyonun tüm özellikleri onun sıcak ve kurak iklim koşulları altında alüvyon yelpazesi ortamının dış kısımlarında ve ona komşu playa adı verilen geçici göllerde çökelmiş olduğunu işaret eder.

Kuşdamı Formasyonu Suudi Arabistan'da Unayzah Formasyonu ve Umman'da Gharif Formasyonu ile aynı yaşta olup aynı tip

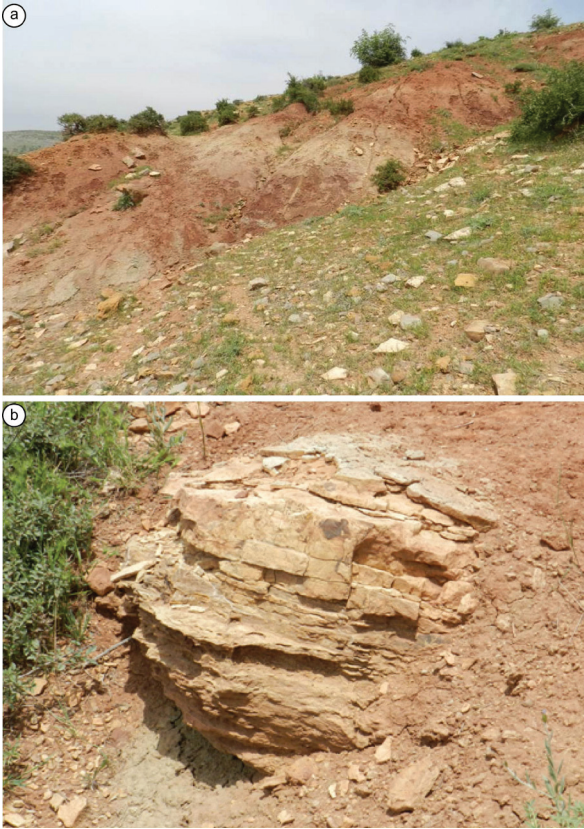
ortamlarda ve aynı iklim koşulları altında çökelmiş olup, yaşları Erken-Orta Permiyen (290-269 MYÖ) olarak tespit edilmiştir (El-Khayal ve Wagner, 1985; Broutin vd., 1995; Şenalp ve Al-Duaiji, 2001b). Bu zaman süreci Artinskiyen, Kunguriyen ve Rodiyen katlarını içerir. Aynı yaş aralığı Kuşdamı Formasyonu için de geçerli olabilir. Unayzah Formasyonu içindeki eoliyen dün kumtaşları ve flüviyal kumtaşları Paleozoyik hedefli açılan ilk arama kuyularında rastlanılmış ve çok hafif petrol ve gaz üretimi bu rezervuardan yapılmıştır (Şekil 35a, b). Petrol ve gazın kaynak kayası Erken Silüriyen yaşlı organik maddece zengin şeyllerdir (Guit vd., 1995; Şenalp ve Al-Duaiji, 1995, 2001b; Şenalp 2006b). Aynı petrol sistemleri Kuşdamı Formasyonu için de geçerlidir.



Şekil 33. a) Kayayolu Formasyonu'nun tabanında bulunan aratabakalı kumtaşı ve şeyl istifinin mostraları. Bu istif transgresif olarak Dadaş Formasyonu üzerine

oturur. **b)** Kayayolu Formasyonu'nun en tabanını oluşturan resifal fasiyesteki dolomitik algal kireçtaşı (Şenalp vd., 2018).

Figure 33. a) Interbedded sandstone and shale sequence at the base of the Kayayolu Formation. This sequence is transgressive over the Dadaş Formation. **b)** Algal dolomitic limestone represents the lower part of the Kayayolu Formation (Şenalp et al., 2018).



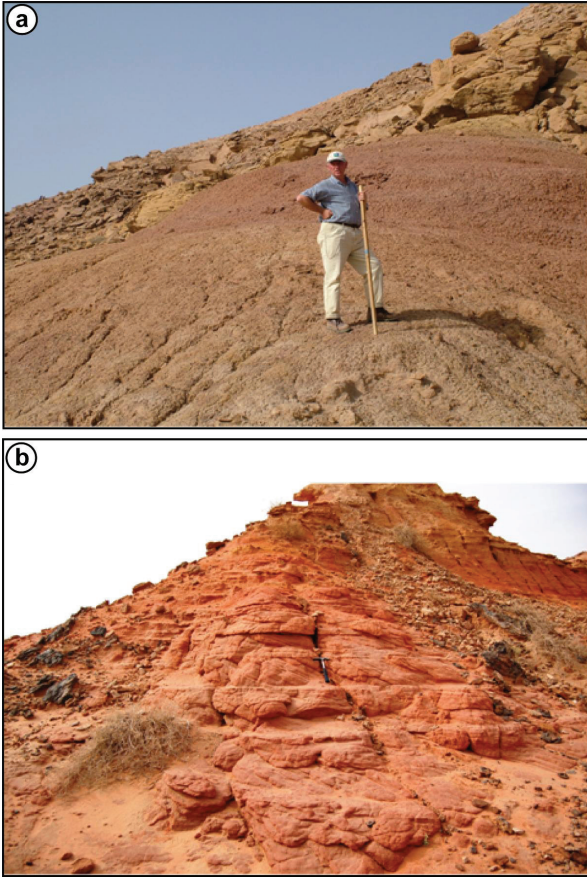
Şekil 34. a) Kuşdamı Formasyonu'nun büyük bir bölümünü oluşturan kurak iklim kuşağı altında, karasal playa ortamı içinde çökelmiş kırmızı renkli, masif çamurtaşları. **b)** çamurtaşları içinde çökelmiş merceksel tatlı su kireçtaşları (Şenalp vd., 2018).

Figure 34. a) Red-colored, massive mudstones of the Kuşdamı Formation were deposited in a continental environment under hot and arid environmental conditions. **b)** Lenticular fresh water limestones deposited in a continental playa environment under hot and dry climatic conditions (Şenalp et al., 2018).

Kaş Formasyonu (Geç Permiyen, 269–260 MYÖ)

Kaş Formasyonu ilk kez Bozdoğan vd. (1987) tarafından, Hazro ilçesinin 6 km batısındaki Dadaş köyünün Kaş mahallesinde ve Tanin Grubu içinde tanımlanmıştır. Bu tanımlamada formasyonun yaşı Geç Permiyen olarak rapor edilmiştir. Kaş Formasyonu, Diyarbakır bölgesinde sadece Hazro ilçesinin kuzey batısında görülür ve Gomanibrik karbonatlarının altında batı-doğu istikametinde Kaş ile Gomanibrik köyleri arasında uzanır ve Dadaş köyünün kuzeyindeki dik eğimli yamaçta uzak mesafeden görülebilir. Kaş Formasyonu, alttaki kırmızı renkli karasal çamurtaşlarından yapılmış olan Kuşdamı Formasyonu üzerine Neotetis Okyanusu'nun açılması sonucu transgresif olarak gelir (Şenalp vd., 2018). Bu iki formasyon arasında kurak ve sıcak iklim koşulları altında çökelmiş ve çökelmezlik yüzeyini temsil eden kireçtaşı yumruları içeren eski toprak sevileri vardır. Bu çökelmezlik yüzeyi iki formasyon arasında önemli bir zaman boşluğunun bulunduğunu işaret eder.

Kaş Formasyonu, Neotetis Okyanusu'nun kıyısında ve açık denize doğru ilerleyen flüviyal-kökenli bir deltanın aşağı delta düzlüğü ortamında çökelmiş bir istif temsil eder. Deniz seviyesinin dereceli olarak yükselmesi sonucu bu istif üzerine Gomanibrik Formasyonu'nun karbonatları uyumlu olarak oturur (Şekil 31). Gomanibrik Formasyonu'nun tabanı, deniz seviyesinin en yüksek olduğu durumu temsil eder ve MDS P20 (yaklaşık, 260,14 MYÖ) olarak tanımlanmıştır (Şenalp ve Al-Duaiji, 2001a; Şenalp, 2006b; Şenalp vd., 2018). Burada tanımlanan Permiyen Maksimum Deniz Seviyesi, Suudi Arabistan, Umman ve Katar ülkelerinin istifinde bulunan kalın karbonat ve evaporitik Khuff Formasyonu'nun tabanını temsil eder (Şenalp ve Al-Duaiji, 2001b; Şenalp, 2006b).



Şekil 35. a) Suudi Arabistan'da Orta Permiyen yaşlı Unayzah Formasyonu'nun önemli bir bölümünü oluşturan kurak iklim kuşağı altında, karasal playa ortamı içinde çökelmiş kırmızı renkli masif çamurtaşları, **b)** Çamurtaşları içinde çökelmiş geniş yayımlı, çapraz-tabakalanmalı, ince-orta taneli ve iyi boylanmış petrol ve gaz üretimi yapılan eolien çöl kumtaşları (Şenalp ve Al-Duaiji, 2001b; Şenalp vd., 2018).

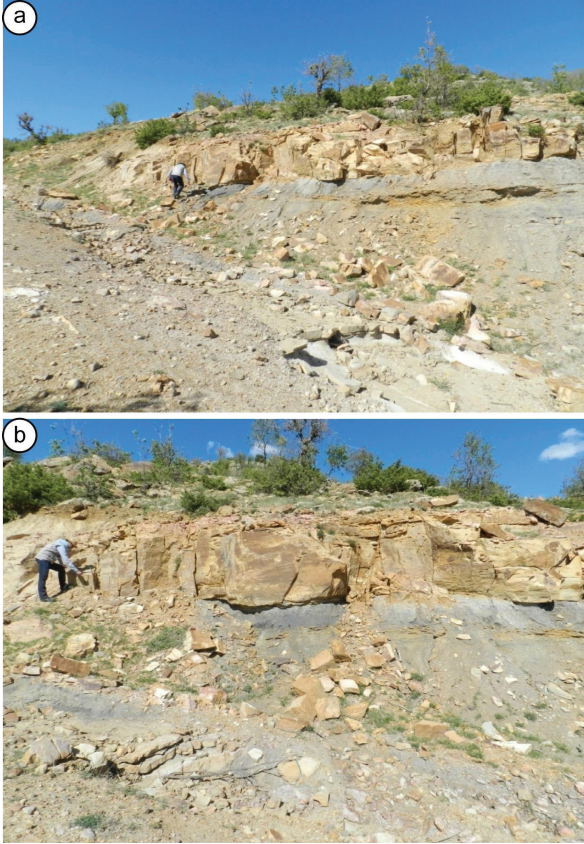
Figure 35. a) Red-colored, massive mudstones of the Unayzah Formation (Middle Permian) were deposited in a continental environment under hot and arid environmental conditions. **b)** Cross-bedded, thin-medium grained, oil and gas producing sandstones of the Unayzah Formation were deposited as desert eolian sandstones under hot and dry climatic conditions. (Şenalp and Al-Duaiji, 2001b; Şenalp et al., 2018).

Kaş Formasyonu'nun ölçülmüş tipik kesitteki kalınlığı 45,15 metre olup başlıca yeşilimsi gri

renkli şeyl, kömürlü şeyl ve ince kömür seviyeleri ile ara tabakalı olarak çökelmiş delta dağıtım kanalları içinde çökelmiş kumtaşları ile temsil üste doğru kalınlaşan regresif bir istifte temsil edilmiştir (Şekil 31). İstifin en tabanındaki 3 m kalınlığındaki yeşilimsi gri renkli şeyl açık deniz ortamını temsil eder. Üzerine gelen 7 m kalınlıktaki ara tabakalı gri şeyl ve ince-tabakalı, ince-taneli, tümsekli-çapraz tabakalı kumtaşı istifi, plaj ortamının aşağı kısımlarında çökelmiştir. Kaş Formasyonu'nun orta kısmında, 17 m kalınlığındaki istif düzenli ara tabakalı şeyl ve kumtaşı ile temsil edilmiştir. Şeyl tabakaları koyu gri ve siyah renkli, yapraklanmalı olup bol miktarda pirit kristalleri ve ince kömür bantları içerir. Kumtaşları keskin-tabanlı, ince-tabakalı olup simetrik dalga kırışıkları içerir. İstifin en üstündeki 18,3 m kalınlığındaki çökeller yaklaşık 7 m kalınlığında ince kömür bantları içeren siyah kömürlü şeyl fasiyesi ile birbirinden ayrılmış iki kanal-dolgusu kumtaşları ile temsil edilmiştir (Şekil 36a, b). Bu kumtaşlarının tabanı belirgin bir aşınma yüzeyini temsil eder. Kanalların tabanındaki kumtaşları kalın tabakalı olup tabaka kalınlığı üste doğru inceler. Kumtaşlarının tane boyu dereceli olarak üste doğru inceler. Tabakaların üstünde simetrik dalga kırışıkları yaygındır. Kömür seviyelerinin ekonomik yönden önemli olduğu anlaşılmış ve özellikle Kaş Formasyonu'nun bu üst seviyesinde açılmış çok sayıda kömür ocakları vardır. Günümüzde terk edilmiş durumda olan bu kömür ocaklarının bazıları Dadaş köyünün gerisindeki kuzey yamaçlarında görülebilir. Kavak (2007) kömür seviyeleri içeren Üst Permiyen yaşlı Kaş Formasyonu'nun sığ deniz, fluviyal-gelgit etkili aşağı delta düzlüğü ve gösel kıyı bataklığı ortamında çökelmiş olduğunu rapor etmiştir.

Diyarbakır bölgesinde, açılan bazı arama kuyularında çökeltme havzasının derinliğinin artması nedeniyle, Kaş Formasyonu'nun tüm kalınlığı ve istifin en üstündeki delta dağıtım kanal-dolgusu kumtaşları ve dağıtım kanallarının çökeltiltiği delta ağzı kumbarı kumtaşlarının kalınlığı önemli derecede artış gösterir. Çok sık

durumlarda iki veya üç kanal-dolgu kumtaşı yanal ve düşey yönde istiflenerek 10-20 metre kalınlığa erişen kumtaşı birimi oluştururlar. Güneydoğu Türkiye’de Kaş Formasyonu Ceylanpınar-1 (84 m), Kayayolu-2 (95 m), Kayayolu-4 (91 m), Varınca-1 (46 m), Babahaki (36 m), Bismil-1 (33 m), Güney Hazro-1 (27 m), Güney Hazro-4 (44 m), Didan-1 (23 m), Girmeli-1 kuyularında tespit edilmiştir.



Şekil 36. Kaş Formasyonu’nu oluşturan flüviyal ve haliç kökenli kumtaşı kanal dolguları ve bunların arasındaki taşkın ovalarında çökelmiş şeyl ve ekonomik önemi olan kömürlü seviyeler Paleozoyik istifinin en üstünü oluşturur (Şenalp et al., 2018).

Figure 36. a) Sand-filled fluvial and estuarine channels of the Kaş Formation are interbedded with flood plain shales and b) coal seams represent the uppermost part of the Paleozoic succession (Şenalp et al., 2018).

Çok sayıdaki palinolojik (spor ve polen) çalışmaları sonunda bu formasyonun yaşı Geç Permiyen (Vordiyen ve Erken Kapitanien) olarak güvenli bir şekilde tespit edilmiştir (Şenalp ve Al-Duaiji, 2001b; Stephenson ve Filatoff, 2000a; 2000b; Şenalp, 2006b; Stolle, 2010; Stolle vd., 2011). Kaş Formasyonu’nun tipik kesitinin ölçülmesinden elde edilen sedimantolojik veriler (litofasiyeler, litofasiyes ilişkileri, sedimanter yapılar, sedimanter yapıların sıralanışları, kumtaşlarının geometrisi), petrol kuyularından elde edilen kuyu logları ve karotların incelenmesinden toplanan verilerin tümü değerlendirilerek yorumlanmıştır. İstif içindeki gri renkli denizel fosil içeren şeyller ve ara tabakalı olarak çökelmiş ince-taneli, tümsekli-çapraz tabakalanma (hummocky-cross bedding) ve simetrik dalga kırışıkları içeren kumtaşları sığ deniz ortamında çökelmiştir. İstifin üst kısmına doğru şeyller içinde kömür laminaları görülmeye başlar. İstifin en üstünde kömür tabakaları içeren şeyller flüviyal kökenli kanal-dolgu kumtaşlarıyla ara-tabakalı olarak çökelmiştir. Bu verilerin ışığı altında Kaş Formasyonu’nun sığ deniz ortamında açık denize doğru ilerleyen flüviyal sistemin etkili olduğu delta sistemi (fluvio-marine delta) tarafından çökeldiği tarzında yorumlanmıştır.

Kaş Formasyonu, Hazro bölgesinde ölçülen kesitteki kumtaşlarının içinde ve arama kuyularından alınan karotlarda petrol emareleri vardır. Bazı kuyularda (örneğin Hazro-4) derin kazılmış vadiler içinde, yüksek enerji ortamında çökelmiş ve kalınlığı 50 metreye ulaşan iyi-boylanmış kumtaşlarının hidrokarbon rezervuarları oluşturmaları yönünden olan önemi büyüktür. Kaş Formasyonu Suudi Arabistan’ın Ash-Shiqqah Formasyonu, Umman’ın Gharif Formasyonu ile aynı yaşta olup benzer sedimantolojik özelliklere sahiptir. Kaş Formasyonu üzerine transgresif olarak gelen Gomanibrik Formasyonu’nun kalın karbonat istifi Suudi Arabistan, Bahreyn, Umman ve Katar gibi ülkelerde Khuff Formasyonu olarak bilinir ve bu transgresif istifin tabanı Maksimum

Deniz Seviyesi Permien 20 (MDS P20, 260 MYÖ) olarak kabul edilmiştir (Şenalp ve Al-Duaiji, 2001b; Şenalp, 2006b).

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Güneydoğu Türkiye'nin Diyarbakır, Mardin ve Adıyaman bölgelerindeki geniş yayımlı Paleozoyik istiflerinin hidrokarbon potansiyellerini ortaya çıkarmak amacıyla yapılan ayrıntılı stratigrafik ve sedimantolojik çalışmaların sonuçları aşağıda sunulmuştur.

Güneydoğu Türkiye'nin Paleozoyik istifleri Gondwana Kıtası'nın kuzeybatısında çökelmiş ve son yıllarda bu bölgelerde açılan arama kuyularından bu istifler içindeki kumtaşı ve karbonat kayaçlarının hidrokarbon potansiyellerinin çok önemli olduğu anlaşılmıştır.

Paleozoyik istifleri, Arap Kalkanı olarak bilinen Neoproterozoyik yaşlı (yaklaşık 635-541 MYÖ) magmatik kristalin bir temel üzerine oturur. Üzerine gelen sedimanter istif Erken Kambriyen'den (541 MYÖ) Geç Permien'e (260,4 MYÖ) kadar temsil edilmiş, fakat tektonik ve buzul kökenli bölgesel aşınma yüzeylerinden son derecede etkilenmiştir.

Bu çalışma başlıca Derik (Mardin) ilçesinin yakınındaki Zabuk Vadisi ve Şıp Deresi boyunca, Bedinan (Gürmeşe) köyü çevresinde, Hazro (Diyarbakır) ilçesinin Dadaş-Gomanibrik köyleri arasındaki bölgede ve Penbeğli (Tut, Adıyaman) köyünün Kaplan Deresi'nde yürütülmüştür. Tektonik kökenli Kaledoniyen aşınma yüzeyi, Dadaş (Siluriyen) ve Kayayolu (Devoniyen) formasyonları arasında tespit edilmiştir. Geç Ordovisiyen (Hiransiyen, 445 MYÖ) buzul kökenli aşınma yüzeyi Bedinan ile Yurteri formasyonları arasında tespit edilmiştir (Şenalp vd., 2018).

Organik madde kapsamı yüksek ve tüm Paleozoyik kumtaşı rezervuarlarına potansiyel

kaynak kaya oluşturan şeyl fasiyesi bölgesel deniz transgresyonlarının tabanında çökelmiştir. En verimli kaynak kaya fasiyesi, Geç Ordovisiyen (Hiransiyen, 445 MYÖ) Gondwana kıtasal buzulların erimesi sonucu hızlı bir şekilde gelişen Erken Siluriyen (Ruddaniyen, 444 MYÖ) yaşlı bölgesel transgresyonun tabanındaki Dadaş Formasyonu içinde çökelmiştir. İlk çökeltme, buzulların erimesi sonucu ortaya çıkan topografik yüzeyin çukur alanlarındaki oksijensiz ortam koşulları altında çökelmiştir. Organik madde kapsamı daha az düzeyde olmasına rağmen benzer kaynak kaya şeylleri Orta Ordovisiyen (Dapingiyen, 470 MYÖ) yaşlı Bedinan Formasyonu'nun tabanında ve Geç Permien (Vordiyen, 268 MYÖ) yaşlı Kaş Formasyonu'nun bölgesel Neotetis transgresyonunun tabanında çökelmiştir. Ayrıca, Kaş Formasyonu içindeki delta düzlüğü ortamında çökelmiş kömürlerin gaz üretme özelliği ise yüksektir. Orta Kambriyen (514-497 MYÖ) yaşlı Koruk Formasyonu'nun kalın algal stromatolitik karbonat kayaçları hem kaynak kaya hem de rezervuar kaya özelliklerine sahiptir (Şenalp vd., 2018).

Potansiyel rezervuar kaya özelliklerine sahip kumtaşları, genellikle kum yüklü örgülü nehir ortamında çökelmiş Zabuk Formasyonu veya üste doğru kalınlaşan ve açık denize doğru ilerleyen delta ortamlarının en sığ kısımlarındaki dağıtım kanallarının ağız kısımlarında kum barları olarak çökelmiş Sosink, Konur ve Dadaş formasyonlarıdır. Dadaş Formasyonu'nun en üst kısmını oluşturan Hazro Kumtaşı ve Konur Formasyonu kumtaşlarının verimli hidrokarbon rezervuarları oldukları bilinmektedir. Arazide ölçülen kesitler sırasında kumtaşlarının rezervuar kalitesini ve uğradıkları diyajenetik değişimleri ve bu değişimlerin gözeneklilik ve geçirimsizlik etkilerini ortaya çıkarmak için çok sayıda örnek toplanmıştır.

Geç Ordovisiyen (Hiransiyen, 445 MYÖ) Gondwana kıtasal buzullaşması hidrokarbon

oluşumları için özel bir önem taşımaktadır. Buzulların kestiği derin vadiler ve genetik ilişkili örgülü flüviyal delta ortamında çökelmiş kumtaşlarından (Yurteri Formasyonu) Diyarbakır, Bismil ve Batman bölgelerinde açılan kuyularda petrol ve gaz üretimi yapılmaktadır. Bu çökme ortamının önemli olması, rezervuar kumtaşlarının Silüriyen transgresyonunun tabanında çökelen organik madde kapsamı yüksek şeyllerle örtülmesi ve burada oluşan hidrokarbonların hidrostatik basınç nedeniyle istifin altındaki gözenekli ve geçirimli kumtaşlarına göçmesi sonucudur (Lüning vd., 2000, 2003, 2005; Şenalp, 2006a; Şenalp vd., 2018; Şenalp ve Tetiker, 2020).

Güneydoğu Türkiye’de açılacak arama kuyularının lokasyonlarının bilinçli olarak seçilebilmesi için farklı ortamlarda çökelmiş fasiyeslerin yan ve düşey yöndeki dağılımları, kalınlık (izopak) haritalarının çökme ortamları göz önünde tutularak haritalanması ve rezervuar fasiyesleri ile kaynak kaya fasiyeslerinin birlikte çökeldikleri alanların tespit edilmesi gerekir. Bu amaçla jeologların ve jeofizikçilerin yakın iş birliği yapmaları çok önemlidir.

EXTENDED SUMMARY

The Paleozoic successions of Southeast Turkey rest directly on the igneous Proterozoic Basement (Arabian Shield) and the sedimentary sequence was deposited continuously from the Early Cambrian (541 Ma) to Late Permian (260 Ma) times. In recent years, non-associated gas, condensate, and light oil were discovered in the sandstones and carbonates of the Paleozoic successions deposited on the Arabian Platform. Stratigraphic and sedimentologic studies of outcrop sections and the exploration and production wells from these multiple reservoirs have yielded an immense amount of data on the subsurface geology of both reservoir and non-reservoir formations. Similar successions are also present and have great exploration potentials in southeast Turkey, forming

the northern margin of the Arabian Platform (Şenalp et al., 2018). Outcrops of Neoproterozoic and Paleozoic siliciclastic and carbonate rocks were studied in the Derik (Mardin), Hazro (Diyarbakır), and Kahta (Adiyaman) regions of Southeast Turkey and provided excellent opportunities for the analysis of sedimentary facies and the development of a sequence stratigraphic framework. In the present study, the thick Paleozoic successions were subdivided into the several formations and members by their tectonically- and glacially-driven unconformities, Type-1 Sequence Boundaries, marine flooding surfaces (mfs), and Maximum Flooding Surfaces (MFS), as well as detailing the environment of their deposition.

Tectonically-induced unconformities are the result of Caledonian (419 Ma) and Hercynian (305 Ma) Orogenesis. The glacially-induced unconformities were formed as result of the lowering of sea level during both the Late Ordovician (Hirnantian, 445 Ma) and Permo-Carboniferous (Late Stephanian to Early Sakmarian 295-285 Ma) Gondwana Land Glaciations. Therefore, in some places, the Late Devonian, Carboniferous and Permo-Carboniferous successions were either eroded completely or truncated and reduced in thickness. The regional transgressions, covering Gondwana entirely, occurred as result of the melting of the thick ice mass during Early Silurian (Rhuddanian 444 Ma) and Early Permian (300 Ma) times. Additionally, several stratigraphic breaks (major unconformities and various orders of sequence boundaries) were also recognized in the successions.

In Southeast Turkey, the Neoproterozoic Crystalline Basement (Telbesmi Formation) and the lower Paleozoic (from Early Cambrian to Silurian) successions are fully preserved and well exposed in the Derik (Mardin) and Kahta (Adiyaman) areas. The most convincing evidence of the Late Ordovician Gondwana Land Glaciation (deep and narrow glacial valleys) is exposed in

Yurteri village (Derik). The upper Paleozoic successions (from Early Silurian to Late Permian) are exposed in the Hazro (Diyarbakır) area. The impacts of both Caledonian and Hercynian tectonic orogenesis can also be seen in this area where some of the Devonian, Carboniferous and Permo-Carboniferous sections were either not deposited or are now completely eroded.

In our study, the Cambrian system (541 - 485 Ma) in southeast Turkey was subdivided into the Sadan (529 - 514 Ma), Zabuk (529 - 514 Ma), Koruk (514 - 497 Ma), and Sosink formations (497 - 485 Ma). On the Arabian Platform, the MFS Cm10 (540 Ma) was recognized only in the marine algal limestone facies in the middle of the overall siliciclastic Sadan Formation. The thick, medium-grained and well-sorted sandstones deposited in the high energy braided fluvial system have high reservoir rock potential. The thick carbonate section of the Koruk Formation (Early Middle Cambrian) represents the MFS Ca20 (510 Ma). These shallow marine carbonate rocks have both source rock and reservoir rock potentials.

In Southeast Turkey, the Ordovician successions are also fully preserved and well represented along the Zabuk Valley (Derik) and in the vicinity of Bedinan (Gürmeşe) villages (Kızıltepe, Mardin). In many respects, this succession is very similar to the Ordovician succession of Saudi Arabia and other countries located on the Arabian and African Platforms (Şenalp and Al-Laboun, 2000; Şenalp, 2006a; Şenalp et al., 2018). The significant impact of the Late Ordovician glaciation was recognized and its hydrocarbon potential was fully understood. The succession consists of the Konur (485 - 470 Ma), Bedinan (470-444 Ma), and glacially-formed Yurteri Formations (445-444 Ma). The Konur Formation is a thick coarsening- and thickening-upward progradational fluvial- and wave-dominated deltaic sequence. It consists of massive shale in the lower part, interbedded shale and sandstone in the middle part, and thick,

uniform distributary mouth bar sandstone in the upper part. The base of the formation represents the Early Ordovician open marine transgression and is defined as MFS O10 (485 Ma). The thick-bedded, medium- to coarse-grained sandstone facies forming the inner mouth bar and subaqueous distributary channel-fills of the Konur Formation show great reservoir potentials. The main problem is the absence of source rock facies below this section. Recently, sweet gas and light oil were discovered in these sandstones. It is very likely that the hydrocarbon was generated in the offshore marine shale at the base of the overlying Bedinan Formation and migrated downward due to pressure differences.

The base of the Bedinan Formation is an open marine transgression on the Konur Formation and represents the MFS O20 (470 Ma). The type section of this formation consists of only one single, continuous coarsening- and thickening-upward sequence. The offshore marine shales in the lower parts of the section are gradually overlain by the interbedded shale and sandstone facies of the lower shoreface environment. After deposition of the Bedinan Formation, the entire Gondwana Land was affected by the Late Ordovician (Hirnantian 445 Ma) glaciation. The Bedinan Formation was deeply incised by narrow and U-shaped glacial valleys formed at the base of the Yurteri Formation, as defined Şenalp et al. (2018). This glaciation was short-lived (less than one million years) but affected the intracratonic basins of Mauritania, Morocco, Algeria, Libya, Egypt, Saudi Arabia, Iraq, and some parts of Turkey. The Yurteri Formation has three well-defined and genetically related glaciogenic deposits. These are: 1. Tunnel-valley deposits, 2. Glaciofluvial braided delta deposits, and 3. Glaciomarine deposits. The deep, narrow and U-shaped valleys consist of massive and thick-bedded, coarse- to medium-grained sandstone, including polished and striated pebbles (Şenalp et al., 2018). The glaciofluvial braided delta deposits consist of fining-upward, medium-fine-

grained well-sorted sandstones deposited in the lens- or wedge-shaped, vertically and laterally-stacked channels, forming a very productive hydrocarbon reservoir facies in Southeast Turkey. The glaciomarine deposits form the uppermost part of the Yurteri Formation and are composed of dark gray shale, diamictite and strongly folded sandstone blocks, slumped from the banks of glacial valleys during the deglaciation (melting phase) period of the ice mass.

The base of the Silurian system is a regional marine transgressive surface, developed as the result of fast melting of the Gondwana ice sheet. Organic rich black shale (hot shale facies) occupies the lowermost part of the section and has been dated as Early Llandovery (Rhuddanian), representing the MFS S10 (444 Ma). This hot shale facies is the most prolific source rock covering the entire Arabian and African plates (Lüning et al., 2000, 2003, 2005). In Southeast Turkey, the Silurian succession is called the Dadaş Formation. It consists of one single coarsening- and thickening-upward fluvial- and tide-dominated deltaic sequence. The section was divided by Şenalp et al. (2018) into four informal members (hot shale, cap carbonate, lean shale, deltaic sandstone). The distributary mouth bar sandstones, just below the Devonian section, is the oil-producing Hazro reservoir. The hydrocarbons formed in the organic rich hot shale facies of the Dadaş Formation have migrated downward into the glaciofluvial sandstones due to hydrostatic pressure or migrated upward through fault systems into the deltaic sandstones of the Hazro reservoir (Şenalp et al., 2018; Şenalp and Tetiker, 2020). In the measured type section and in some exploration wells, the upper part of the Hazro reservoir was partly or completely eroded by the regional unconformity surface formed by the Caledonian Orogenesis (419 Ma). The lower part of the section consists of greenish gray shale overlain by interbedded sandstone and shale facies. The upper part of the measured section is represented by thickly-bedded algal dolomitic limestone.

The Devonian succession of southeast Turkey is defined as the Kayayolu Formation and is exposed in the Hazro area of the Diyarbakır region. This region was tectonically active during the entire Paleozoic era; therefore, the Devonian succession was severely affected by these multiple tectonic events and only the lowermost part of the succession is preserved. This explains why the type section of the formation has been defined in the exploration wells Kayayolu-2 and Kayayolu-4 by Bozdoğan et al. (1987). In the Hazro area, its upper part was cut and eroded by the Hercynian Unconformity (305 Ma) and only the lower part of the formation resting on the Caledonian erosional has been preserved. It is composed mainly of algal stromatolitic limestone and thin beds of shale. The reservoir quality of the carbonate section, studied at the outcrop measured, is very poor for hydrocarbon accumulation. At outcrops in the Diyarbakır region, the Carboniferous and Permo-Carboniferous successions are not represented. They may have not been deposited in the first place or may have been eroded by younger unconformities when the region was uplifted during the Early Permian period.

The stratigraphic succession deposited during the Permian system in the Hazro area extends between the Pre-Kuşdamı Unconformity surface (290 Ma) at the base and the Maximum Flooding Surface P20 (MFS P20, 260 Ma) that developed at the base of the thick carbonate succession of the Gomanibrik Formation. This succession includes the continental red bed sequence of the Kuşdamı Formation and the shallow marine Kaş Formation. These two formations are separated by the Pre-Kaş Unconformity surface. The Kuşdamı Formation correlates with the Unayzah Formation in Saudi Arabia and the Gharif Formation in the Sultanate of Oman. The Kaş Formation correlates with the Ash-Shiqqah Formation of Saudi Arabia (Şenalp and Al-Duaiji, 2001b).

The Early-Middle Permian Kuşdamı Formation was first defined by Şenalp et al. (2018) who studied the outcrop exposed between

the Dadaş and Kuşdamı villages. The continental sediments sit directly on the algal limestones of the Devonian section, and are overlain by the coal-bearing deltaic sediments of the Kaş Formation. The formation is also encountered in the cores cut in the exploration wells drilled in Diyarbakır region. The Kuşdamı Formation is 32.10 m thick and consists of red colored, massive-looking mudstones and lenticular freshwater limestones. In the subsurface, there are 2 to 5 m thick evaporites (mainly anhydrite) interbedded with these red mudstones deposited in the inland playa environment.

The Late Permian Kaş Formation was first defined by Bozdoğan et al. (1987) near the village of Dadaş in Hazro county in Diyarbakır region. The marine sediments at the base transgressively overlie the continental red bed mudstones of the Kuşdamı Formation. There is a thick caliche-formed paleosol between these two formations, indicating a significant time gap in the section. This transgression is directly related with the opening of the Neotethys Ocean. The type section is 45.1 m thick, and consists of interbedded shale, carbonaceous shale, thick coal beds and well developed thick delta distributary channel-fill sandstones, indicating a prograding shallow marine and fluvial-dominated deltaic environment (Şenalp et al., 2018). The lens- and wedge-shaped sandstones are generally isolated in the coaly shale facies. In some cases, two channel-fill sandstones are vertically- and laterally-stacked, forming a promising reservoir facies. The carbonates of the Gomanibrik Formation conformably overlie the Kaş Formation. The base of the carbonates represents MFS P20 (260 Ma) and correlates with the base of the Khuff Formation of Saudi Arabia, Qatar and Oman (Şenalp and Al-Duaiji, 2001; Şenalp, 2006b).


KATKI BELİRTME

Bu çalışma, birinci yazarın 30 yılı aşkın bir süre Suudi Arabistan'ın ulusal şirketi Suudi Aramco Petrol Şirketi'nde ve TPAO Arama

Grubu çatısı altında Paleozoyik projesi çerçevesi içinde yaptığı stratigrafik ve sedimantolojik çalışmalara dayandırılmıştır. Kurumların arazi çalışmaları ve ofiste yapmış oldukları desteklerden dolayı teşekkürlerimizi arz ederiz. Sayın Prof. Dr. Nizamettin Kazancı ve Prof. Dr. Cemal Göncüoğlu'na bu yayının hazırlanıp ortaya çıkmasındaki bilimsel katkı ve desteklerinden dolayı kendilerine teşekkür ederiz. Ayrıca arazi çalışmalarına yaptığı lojistik katkılarından dolayı Batman Üniversitesi Yüksek Lisans öğrencisi Hasan Taş ve bazı şekillerin çizimindeki katkılarından dolayı Mahir Kaya'ya teşekkür ederiz.

ORCID

Muhittin Şenalp  <https://orcid.org/0000-0003-2144-0091>

Sema Tetiker  <https://orcid.org/0000-0001-5158-7364>

Murat Şentürk  <https://orcid.org/0000-0002-9672-3021>

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Al-Hadidy, A.H. (2007). Paleozoic Stratigraphic Lexicon and Hydrocarbon Habitat of Iraq. *GeoArabia*, 12(1), 63-130.
- Al-Hajri, S. A. (1995). Biostratigraphy of the Ordovician Chitinozoa of northwestern Saudi Arabia. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 89, 27-48.
- Al-Husseini, M.I. (1989). Tectonic and depositional model of Late Precambrian–Cambrian Arabian and adjoining plates. *AAPG Bulletin* 73(9), 1117–1131. <https://doi.org/10.1306/44B4A54B-170A-11D7-8645000102C1865D>
- Al-Husseini, M.I. (2000). Origin of the Arabian plate structures: amar collision and Najd rift. *GeoArabia* 5, 527–542.
- Al-Husseini, M. (2011). Late Ediacaran to early Cambrian (Infracambrian) Jibalah group of Saudi Arabia. *GeoArabia*, 16, 69–90.
- Al-Saleh, A. M., Boyle, A. P. & Mussett, A. E. (1998). ⁴⁰Ar/³⁰Ar dating of the Halaban ophiolite and associated units: evidence for two-stage orogenesis in the eastern Arabian shield. *Journal*

- of the Geological Society* 155, 165–175. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.155.1.0165>
- Amthor, J. E., Grotzinger, J. P., Schroder, S., Bowring, S. A., Ramezani, J., Martin, M. W. & Matter, A. (2003). Extinction of Cloudina and Namalathus at the Precambrian-Cambrian boundary in Oman. *Geology*, 31(5), 431–434. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2003\)031<0431:EOCAN A>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2003)031<0431:EOCAN A>2.0.CO;2)
- Andrews, I. J. (1991). *Palaeozoic lithostratigraphy in the subsurface of Jordan*. Subsurface Geology Bulletin, 2: Geology Directorate, NRA, Amman.
- Aqrawi, A. A. M. (1998a). Paleozoic stratigraphy and petroleum systems of the western and southwestern deserts of Iraq. *GeoArabia*, 3(2), 229-248.
- Aqrawi, A. A. M. (1998b). Errata: Paleozoic Stratigraphy and petroleum Systems of the western and southwestern deserts of Iraq. *GeoArabia*, 3, 417-418.
- Bakor, A. R., Gass, I. G., Neary, C. R. (1976). Jabal al Wask, northwest Saudi Arabia: an Eocambrian back-arc ophiolite. *Earth and Planetary Science Letters*, 30, 1–9.
- Bentor, Y. K. (1985). The Crustal Evolution of the Arabo-Nubian Massif with Special Reference to the Sinai Peninsula. *Precambrian Research*, 28, 1-74.
- Bozdoğan, N., Bayçelebi, O. ve Willink, R. (1987). Güneydoğu Anadolu Hazro Bölgesinde (X. Bölge Kuzeyi) Paleozoyik Stratigrafisi ve Petrol Üretkenliği. Jeoloji Bildirileri. *Türkiye 7. Petrol Kongresi*, Ankara, 117-130.
- Blumenthal, M. M. (1947). *Seydişehir-Beyşehir hinterlandındaki Toros Dağlarının Jeolojisi* (Seri D, no. 2). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Broutin, J., Roger, J., Platel, J.-P., Angiolini, L., Baud, A., Bucher, H., Marcoux, J. & Al Hashmi, H. (1995). The Permian Pangea. Phytogeographic implications of new paleontological discoveries in Oman (Arabian peninsula). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences Série II Fascicule a-Sciences De La Terre Et Des Planetes*, 321, 1069–1086.
- Cobb, R. E. (1957). *Columnar section Bedinan-Kanisarik-Paleozoic* (Arşiv no. 576). TPAO Arama Grubu.
- Craig, J., Thurow J., Thusu B., Whitham, A. & Abutarruma Y. (2009). Global neoproterozoic petroleum systems and the emerging potential. In J. Craig, J. Thurow, B. Thusu, A. Whitham, & Abutarruma (Eds.), *North Africa* (pp. 1–24). Geological Society, London Special Publications, 326.
- Craig, J., Grico D., Reborra A., Serrafin, G. & Tebaldi A. (2010). Petroleum Geology: From Mature Basins to New Frontiers. In B. A. Vining, S C. Pickering, (Eds), *Proceedings of the 7th Petroleum Geology Conference From Neoproterozoic to Early Tertiary: exploring the potential of older and deeper hydrocarbon plays across North Africa and the Middle East*. Geological Society, London, 673–705.
- Dean, W. T. (1967). The correlation and Trilobite fauna of the Bedinan formation (Ordovician) in South-eastern Turkey. *Bulletin of the British Museum (Natural History)*. *Geology*, 15, 81-123
- Dean, W. T. (1983). Additional Faunal data for the Bedinan Formation (Ordovician) of south-eastern Turkey. *Special Paper in Palaeontology* 30, 99-105.
- Dean, W.T. & Monod, O. (1970). The Lower Paleozoic stratigraphy and faunas of the Taurus Mountains near Beyşehir, Turkey, I. Stratigraphy. *Bulletin of the British Museum (Natural History)*. *Geology*, 19, 413-426.
- Dean, W. T. ve Monod, O. (1990). Revised stratigraphy and relationships , of the Lower Palaeozoic rocks, eastern Taurus Mountains, south central Turkey. *Geological Magazine*, 127, 333-347.
- El-Khayal, A. A., Chaloner, W. G. & Hill, C. R. (1980). Paleozoic Plants from Saudi Arabia. *Nature*, 285, 33-34. <https://doi.org/10.1038/285033a0>
- El-Khayal, A. A. & Wagner, R. H. (1985). Upper Permian Stratigraphy and Megafforas of Saudi Arabia: Paleogeographic and Climatic Implications. *Compte Rendu X Congress International Stratigraphie Geologie Carbonifere, Madrid*, 17-26.
- Gass, I. G. (1981). Pan African (Upper Proterozoic) plate tectonics of the Arabian-Nubian shield. In A. Kröner (Ed.), *Developments in Precambrian Geology, Precambrian Plate Tectonics* (pp.387-405). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0166-2635\(08\)70020-3](https://doi.org/10.1016/S0166-2635(08)70020-3)

- Ghienne, J. F., Kozlu, H., Dean, W. T., Günay, Y. & Monod, O. (2001). Discovery of the Northernmost Gondwanan evidence of an Upper Ordovician Glacier: Southern Turkey. In: EUG XI, Strasbourg, Abstracts.
- Ghienne, J. F., Monod, O. & Dean, D. W. (2010). Cambrian-Ordovician sequences in the Middle East: A perspective from Turkey. *Earth-Science Reviews*, 101(3-4), 101-146.
- Girard, F., Ghienne, J. F. & Rubino, J. L. (2012). Channelized sandstone bodies ('cordons') in the Tassili N'Ajjer (Algeria & Libya): snapshots of a Late Ordovician proglacial outwash plain. In M. Huuse, J. Redfern, D. Le Heron, R.J. Dixon, A. Moscariello & J. Craig (Eds.), *Glaciogenic Reservoirs and Hydrocarbon Systems, Special Publications 368* (pp.355-379). Geological Society, London. <https://doi.org/10.1144/SP368.3>
- Guitt, F. A., Al-Lawti, M. H. & Nederlof, R. J. R. (1995). *Seeking New Potential in the Early-Late Permian Gharif Play, West Central Oman*. In M. I. Hussein (Ed.), Middle East Petroleum Geosciences Conference. GEO'94 Gulf PetroLink, Bahrain, 2, 447-462.
- Hadley, D. G. & Schmidt, D. L. (1980). Sedimentary rocks and basins of the Arabian Shield and Their evolution. In P.G. Cooray, S.A.Tahoun (Eds.), *Evolution and Mineralization of the Arabian-Nubian Shield, Bulletin 3, Volume 4*, (pp. 26-50). Institute of Applied Geology, King Abdulaziz University: Jiddah, Saudi Arabia.
- Hirst, J. P. P., Benbakir, A., Payne, D. F. & Westlake, I. R. (2002). Tunnel Valleys and Density Flow Processes in the upper Ordovician glacial succession, Illizi Basin, Algeria: influence on reservoir quality. *Marine and Petroleum Geology*, 25, 297-324.
- Hoffman, P.F. & Schrag, D. P. (2000). Snowball Earth. *Scientific American*, 282(1), 68-75.
- Huckriede, R., Kürsten, M. & Venzlaff, H. (1962). *Zur Geologie des Gebietes zwischen Kerman und Sagand (Iran)*. In Beihefte zum Geologischen Jahrbuch, 51, (197 p). Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung.
- Hughes, G.W. & Filatoff, J. (1995). New biostratigraphic constraints on Saudi Arabian Red Sea pre-and syn-rift sequences. In M.I. Al-Husseini (Ed.), *Middle East Petroleum Geosciences GEO'94* (517-528). Gulf PetroLink, Bahrain, 2.
- Hughes, G.W. & Johnson, R. S. (2005). Lithostratigraphy of the Red Sea Region. *GeoArabia*, 10(3). 49-129.
- Huuse, M., Le Heron, D. P., Dixon, R., Redfern, J., Moscariello, A. & Craig, J. (2012). Glaciogenic reservoirs and hydrocarbon systems: an introduction. In M. Huuse, J. Redfern, D. Le Heron, R. J. Dixon, A. Moscariello & J. Craig (Eds.), *Glaciogenic Reservoirs and Hydrocarbon Systems, Special Publications 368* (pp.1-28). Geological Society, London. <https://doi.org/10.1144/SP368.19>
- Johnson, P. R. (1996). *Proterozoic Geology of Western Saudi Arabia, East-central Sheet* (Open-File Report USGS-OF-96-4, scale 1:500,000). Saudi Arabian Deputy Ministry for Mineral Resources.
- Johnson, P. R. (2003). Post-amalgamation basins of the NE Arabian shield and implications for Neoproterozoic III tectonism in the northern East African orogen. *Precambrian Research*, 123(2-4), 321-337. [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(03\)00074-3](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(03)00074-3)
- Johnson, P. R. & Kattan, F. (1999). The Ruwah, Ar Rika, and HalabanZarghat fault zones: northwest-trending Neoproterozoic brittle-ductile shear zones in west-central Saudi Arabia. In: H. de Wall, R. O. Greiling, (Eds.), *Aspects of Pan-African Tectonics* (pp. 75-79). International Cooperation, Bilateral Seminars of the International Bureau 32, Forschungszentrum Jülich, Germany,
- Johnson, P. R. & Kattan, F. H. (2001). Oblique sinistral transpression in the Arabian shield: the timing and kinematics of a Neoproterozoic suture zone. *Precambrian Research*, 107 (1-2), 117-138. [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(00\)00157-1](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(00)00157-1)
- Johnson, P. R. & Kattan, F. H. (2012). *The geology of the Saudi Arabian Shield*. Jeddah, Saudi Geological Survey.
- Johnson, P. R., Kattan, F. H. & Al-Saleh, A. M. (2004). Neoproterozoic ophiolites in the Arabian Shield: Field relations and structure. T.M. Kusky (Ed.), *Precambrian Ophiolites and related rocks: Developments in Precambrian Geology* (13, 129-162). Elsevier, Amsterdam.
- Kavak, O., (2007). *Hazro Bölgesinin Kömür Potansiyeli ve Hidrokarbon Özellikleri*. 16th International Petroleum and Natural Gas Congress and Exhibition of Turkey, May, 2007. Organizations: TAPG.

- Kellogg, H. E. (1960). *Stratigraphic report, Derik-Mardin area Petroleum District V, Southeast Turkey* (Rapor no: 1367). TPAO.
- Ketin, İ. (1966). Güneydoğu Anadolu'nun Kambriyen teşekkülleri ve bunların Doğu İran kambriyen ile mukayesesi. *MTA Dergisi*, 66, 75-87.
- Kocurek, G. & Nielson, J. (1986). Conditions favourable for the formation of warm-climate eolian sand sheets. *Sedimentology*, 33(6), 795-816.
- Konert, G., Afifi, A. M., Al-Hajri, S. A., Al Naim, A. A. & Droste, H. J. (2001). Paleozoic stratigraphy and hydrocarbon habitat of the Arabian plate. *AAPG Memoir*, 74, 483-515.
- Kröner, A. (1985). Ophiolites, and the evolution of tectonic boundaries in the late Proterozoic Arabian-Nubian shield of Northeast Africa and Arabia. *Precambrian Research* 27, 277-300.
- Kröner A., Todt, W., Hussein, I. M., Mansour, M. & Rashwan, A. (1992). Dating of late Proterozoic ophiolites in Egypt and the Sudan using the single grain zircon evaporation technique. *Precambrian Research*, 59(1-2), 15-32. [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(92\)90049-T](https://doi.org/10.1016/0301-9268(92)90049-T)
- Lüning, S., Craig, J., Loydell, D. K., Storch, P. & Fitches, W. (2000). Lowermost Silurian hot shales in north Africa and Arabia: regional distribution and depositional model. *Earth Science Reviews*, 49, 121-200.
- Lüning, S., Kolonic, S., Loydell, D. K. & Craig, J. (2003). Reconstruction of the original organic richness in weathered Silurian shale outcrops (Murzuq and Kufra basins, southern Libya). *GeoArabia*, 8, 299-308.
- Lüning, S., Shahin, Y. M., Loydell, D., Al-Rabi, H. T., Masri, A., Tarawneh, B. & Kolonic, S. (2005). Anatomy of a world-class source rock: distribution and depositional model of Silurian organic-rich shales in Jordan and implications for hydrocarbon potential. *Bulletin of American Association of Petroleum Geologists*, 89, 1397-1427.
- Molyneux, S. G. & Al-Hajri, S. (2000). Palynology of Problematic Lower Paleozoic Lithofacies in Central Arabia. In: Al-Hajri and B. Owens (Eds.), *Stratigraphy of the Paleozoic of Saudi Arabia* (pp. 277-294). GeoArabia Special Publication 1. Gulf Petrolink.
- Monod, O., Kozlu, H., Ghienne, J.-F., Günay, Y., Le Herisse, A., Paris, F. & Robardet, M. (2003). Late Ordovician glaciation in southern Turkey. *Terra Nova* 15, 249-257.
- Moreau, J. (2005). *Architecture stratigraphique et dynamique des dépôts glaciaires ordoviciens du Bassin de Murzuk (Libye)* [Unpublished doctoral dissertation]. Université Louis Pasteur, Strasbourg.
- Moses, H.F. (1936). *Geological report on the Mardin-Cizre region. Southeastern Turkey* (Derleme No:212). sbkdrndrodoMaden Tetkik Arama Enstitüsü.
- Nayıroğlu, Ü. (2019). *3B Sismik Yorumlamada Farklı Hız Modellerinin Kullanılması ve Derinlik Dönüşümüne Katkılarının incelenmesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Naylor, D., Al-Rawi, M., Clayton, M., Fitzpatrick, M. J. & Green, P. F. (2013). Hydrocarbon Potential of Jordan. *Journal of Petroleum Geology*, 36(3), 205-236. <https://doi.org/10.1111/jpg.12553>
- Nehlig, P., Genna, A., Asfirane, F., Dubreuil, N., Guerrot, C., Eberlé, J. M., Kluyver, H. M., Lasserre, J. L., Le Goff, E., Nicol, N., Salpeteur, N., Shanti, M., Thiéblemont, D. & Truffert, C. (2002). A review of the Pan-African evolution of the Arabian Shield. *GeoArabia*, 7, 103-124.
- Özdemir, F. ve Ünlügenç, U. C. (2013). Gökiçi (Diyarbakır) Yapısının Stratigrafisi ve Hidrokarbon Potansiyeli Açısından İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(1), 127-141.
- Özgül, N. (1971). Orta Torosların kuzey kesiminin yapısal gelişiminde blok hareketlerinin önemi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 14(1), 85-101. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb/issue/54938/753186>
- Özgül, N. ve Gedik, İ. (1973). Orta Toroslar'da Alt Paleozoyik yaşta Çaltepe kireçtaşı ve Seydişehir formasyonunun stratigrafisi ve konodont faunası hakkında yeni bilgiler. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 16 (2), 39-52.
- Pallister, J. S., Stacey, J. S., Fischer, L. B. & Premo, W. R. (1988). Precambrian ophiolites of Arabia: Geologic settings, U-Pb geochronology, Pb-

- isotope characteristics, and implications for continental accretion. *Precambrian Research*, 38, 1–54
- Quick, J. E. (1991). Late Proterozoic transpression of the Nabitah fault system implications for the assembly of the Arabian shield. *Precambrian Research*, 53, 119–147.
- Rubino, J. L., Deynoux, M., Ghienne, J. F., Moreau, J., Blanpied, C., Lafont, Andres-Calatrava, F. R., Galeazzi, S. Mynth, T. & Sommer, F. (2003). Late Ordovician Glaciation in Northern Gondwana, Reappraisal and Petroleum Implications. *Geology*, 19, 117–142.
- Sayılı, A., Tandırcıoğlu, A., Temel, R. Ö., Can, H. & Yılmaz, E. (2012). *Paleozoic Petroleum Geology and New Oil Fields Discoveries in Area-147/3-4, Murzuq Basin in Libya, A Field Trip Guide Book*. Kayseri, Turkey. Erciyes University.
- Sharland, R. P., Archer, R., Casey, R. B., Davies, R. B., Hall, S. H., Heward, A. P., Horbury, A. D. & Simmons, M. D. (2001). *Arabian Plate Sequence Stratigraphy*. GeoArabia Special Publication 2.
- Schmidt, G. (1965). Proposed rock unit nomenclature, Petroleum District V, SE-Turkey (autochthonous terrain). Chart 1. In *Stratigraphic Committee*, Turkish Association of Petroleum Geologists, Ankara.
- Siyako, M., Şeker, H., Bahtiyar, İ., Özdemir, İ., Kılınç, S. F., Arslan, M. D., Karaçay, A., Özsoy, S. ve İşdiken, B. (2015). *Batman, Beşiri, Kurtalan, Raman ve Gercüş Civarının Jeolojisi ve Hidrokarbon Olanakları* (Rapor no. 5546). Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Arama Grubu.
- Stephenson, H. M. & Filatoff, J. (2000a). Correlation of Carboniferous-Permian Palynological Assemblages from Oman and Saudi Arabia. In S. Al-Hajri & B. Owens (Eds.), *Stratigraphic Palynology of the Paleozoic of Saudi Arabia* (pp. 168-191). GeoArabia Special Publication 1. Gulf PetroLink, Bahrain.
- Stephenson, H. M. & Filatoff, J. (2000b). Description and Correlation of Late Permian Palynological Assemblages from the Khuff Formation, Saudi Arabia and Evidence for the Duration of the pre-Khuff Hiatus. In S. Al-Hajri & B. Owens (Eds.), *Stratigraphic Palynology of the Paleozoic of Saudi Arabia* (pp. 192-215). GeoArabia Special Publication 1. Gulf PetroLink, Bahrain.
- Stern, R. J. (1994). Arc assembly and continental collision in the Neoproterozoic East African orogen. Implications for the consolidation of Gondwanaland. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 22, 319-351.
- Stern, R. J., Johnson, P. R., Kroner, A. & Yibas, B. (2004). Neoproterozoic ophiolites of the Arabian-Nubian Shield. *Developments in Precambrian Geology*, 13, 95–128.
- Stern, R. J. & Johnson, P. (2010). Continental Lithosphere of the Arabian Plate; a Geologic, Petrologic, and Geophysical Synthesis. *Earth Science Reviews*, 101, 29-67.
- Stern, R. J., Avigad, D., Miller, N. R. & Beyth, M. (2006). Evidence for the snowball Earth hypothesis in the Arabian-Nubian Shield and the east African Orogen. *Journal of African Earth Sciences*, 44(1), 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2005.10.003>
- Stern, R. J., Johnson, P. R., Ali, K. A. & Mukherjee, S. (2011). Evidence for early and mid-cryogenian glaciation in the northern Arabian-Nubian Shield (Egypt, Sudan, and western Arabia). In E. Arnaud, G. P. Halverson, & G. Shield-Zhou (Eds), *The Geological Record of Neoproterozoic Glaciation* (pp. 277–284). Geological Society, London.
- Stoeser, D. B. & Camp, V. E. (1985). Pan-African microplate accretion of the Arabian Shield. *Geological Society of America Bulletin*, 96, 917-826.
- Stoeser, D. B. & Frost, C. D. (2006). Nb, Pb, St, and O isotopic characterization of Saudi Arabian Shield terrenes: *Chemical Geology*, 226, 163-188.
- Stoeser, D. B. & Stacey, J. S. (1988). Evolution, U-Pb geochronology, and isotope geology of the Pan-African Nabitah orogenic belt of the Saudi Arabian Shield. In S. El-Gaby & R. O. Greiling, (Eds.), *The Pan-African Belt of Northeast Africa and Adjacent Areas* (pp. 227–288). Braunschweig/Wiesbaden, Vieweg and Sohn.
- Stolle, E. (2010). Recognition of southern Gondwanan palynomorphs at Gondwana's northern margin and biostratigraphic correlation of Permian strata from SE Turkey and Australia. *Geological Journal*, 45(2-3), 336–349. <https://doi.org/10.1002/gj.1215>
- Stolle, E., Yalçın, N. & Kavak, O. (2011). The Permian Kas Formation of SE Turkey palynological

- correlation with strata from Saudi Arabia and Oman. *Geological Journal*, 46, 561–573.
- Stöcklin, J., Ruttner, A. & Nabavi M. (1964). *New data on the Lower Paleozoic and Precambrian of North Iran* (Report no. 1). Geological Survey of Iran.
- Şenalp, M. (2006a). *Stratigraphy and Sedimentology of the Paleozoic Successions in Saudi Arabia, (Volume 1)*. Upstream Ventures Department of Saudi Aramco.
- Şenalp, M. (2006b). *Stratigraphy and Sedimentology of the Paleozoic Successions in Saudi Arabia, (Volume 2)*. Upstream Ventures Department of Saudi Aramco.
- Şenalp, M. (2016). Kızıldeniz'in Açılımı ve Midyan Havzası'nın Stratigrafik Evrimi (KB Suudi Arabistan. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 28(1), 29-58.
- Şenalp, M. & Al-Duaiji, A. A. (1995). *Stratigraphy and Sedimentation of the Unayzah Reservoir Central Saudi Arabia*. In M. I. Husseini (Ed.), Middle East Petroleum Geosciences Conference. GEO'94 Gulf Petrolink, Bahrain, 2, 837-847
- Şenalp, M. & Al-Duaiji, A. A. (2001a). Qasim Formation: Ordovician storm- and tide-dominated shallow marine siliciclastic sequences, Central Saudi Arabia. *GeoArabia*, 6, 233-268.
- Şenalp, M. & Al-Duaiji, A. A. (2001b). Sequence Stratigraphy of the Unayzah Reservoir in Central Saudi Arabia. *The Saudi Aramco Journal of Technology*, 20-43.
- Şenalp, M. & Al-Laboun, A. (2000). New Evidence on the Late Ordovician Glaciation in Central Saudi Arabia. *Saudi Aramco Journal of Technology*, 11-40.
- Şenalp, M., Bahtiyar, I., Isikalp, U., Uz, E. & Kaya, M. 2018. *Sequence Stratigraphy and Sedimentology of the Paleozoic Successions on the Arabian Platform and Their Impact to Hydrocarbon Explorations in Southeast Turkey*. Turkish Association of Petroleum Geologists, 396 p.
- Şenalp, M. & Tetiker, S. (2020). Sedimentology and Hydrocarbon Potentials of the Late Ordovician glacial deposits on the Arabian Platform and Southeastern Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 29(3), 455-500.
- Taylor, S.R. (1955). *Stratigraphic studies Bozova (Urfa) area (Mobil Exploration Mediterranean Inc. Report)*. Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Arşivi, Kutu No. 1.
- Tromp, S. W. (1941). *Preliminary compilation of the stratigraphy, structural features and oil possibilities of Southeastern Turkey and a comparison with neighboring areas*. Maden Tetkik Arama Enstitüsü Yayınları, Seri A, No.4, 19-34.
- Turner, R. B., Makhoulouf, M. I. & Armstrong A. H. (2005). Late Ordovician (Ashgillian) glacial deposits in Southern Jordan. *Sedimentary Geology*, 181, 73-91.
- Vail, J. R. (1985). Panafrican (late Precambrian) tectonic terrains and the reconstruction of the ArabianNubian Shield. *Geology*, 13, 839–842.
- Vaslet, D. (1990). Upper Ordovician glacial deposits in Saudi Arabia. *Episodes*, 13, 147-161.
- Weber, K. J. (1987). Computation of initial well productivities in aeolian sandstone on the basis of a geological model, Leman gas field, UK. In R. W. Tillman & K. J. Weber (Eds.), *Reservoir Sedimentology* (333–354). Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 40. <https://doi.org/10.2110/pec.87.40.0333>
- Wolfart, R. (1981). Lower Paleozoic rocks of the Middle East, In: C. H. Holland (Ed.), *Lower Paleozoic rocks of the Middle East, Eastern and Southern Africa, and Antarctica* (6-130). Wiley, Chichester.
- Yılmaz, E. ve Duran, O. (1997). *Güneydoğu Anadolu Bölgesi Otokton ve Allohton Birimler Stratigrafi Adlana Sözlüğü*. TPAO Araştırma Grubu, Ankara, Eğitim Yayınları No: 31.