

AYDIN SÖKE SARIÇAY BARAJI GÖVDE DOLGUSUNA AİT SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ VE KONVANSİYONEL BETONLARINDA GNAYS KAYACININ AGREGA OLARAK KULLANIMININ UYGULAMALI BİR ARAŞTIRMASI

AN APPLIED RESEARCH ON THE USE OF GNEISS ROCK AS
AGGREGATE IN ROLLER COMPACTED CONCRETE (RCC) AND
CONVENTIONAL CONCRETE (CVC) OF AYDIN SÖKE SARIÇAY
DAM

Aydın Sağlık*, Mehmet Emin Uyanık, Hüseyin Demir

Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi
Başkanlığı, Ankara
*aydinsaglik@dsi.gov.tr

Süleyman Aydoğan

DSİ 21. Bölge Müdürlüğü, Aydın

Özet

Gövde tipi silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) olarak tasarlanan, temelden yüksekliği 125,0 metre olarak içme suyu temini amacı ile projelendirilen Aydın Söke Sarıçay Barajı, Büyük Menderes Nehrinin kollarından birisi olan Sarıçay Deresi üzerinde konumlandırılarak yapımına devam edilmektedir. Beton agregası olarak kullanılması düşünülen en ekonomik malzemenin ege bölgesinde (Menderes Masifi) yoğun miktarda bulunan gnays kayalarının olabileceği düşünülerek bu malzemenin kullanımı hususunda bir araştırma faaliyetine ihtiyaç duyulmuştur. DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Dairesi Başkanlığınca gerçekleştirilen bu çalışmada, Sarıçay Barajı SSB ve konvansiyonel (CVC) betonlarında gnaysların beton agregası olarak kullanılabilirliğinin uygulamalı olarak araştırılması amaçlanmıştır. Kaya ocağı ve dere yatağından temin edilen iki grup gnays malzemelerin kırma eleme tesisinde agrega olarak üretimi, çalışmalarda kullanılması düşünülen kalker (kireçtaşı), uçucu kül, çimento ve kimyasal katkı gibi malzemeler DSİ 21. Bölge Müdürlüğü kontrollüğünde sağlanmıştır. 2019, 2021 ve 2022 yıllarında gerçekleştirilen bu araştırma, kapsamlı laboratuvar çalışmaları ve baraj şantiyesinde SSB ve CVC deneme üretimleri SSB serimleri ve sıkıştırılması gibi yerinde uygulamalı araştırma faaliyetlerini içermektedir.

Anahtar kelimeler: Silindirle sıkıştırılmış beton, agrega, gnays, SSB, Baraj, Su yapıları

Abstract

Aydın Söke Sarıçay Dam, which is designed as a roller compacted concrete (RCC) body has a height of 125.0 meters from the foundation for the purpose of supplying drinking water, is located on Sarıçay Stream, one of the branches of the Büyük Menderes River, and its construction continues. Considering that the most economical material to be used as concrete aggregate may be gneiss rocks, which are abundant in the region where the dam body is located, a research activity was needed on the use of this material. In this study carried out by DSI Technical Research and Quality Control (TAKK) Department, it is aimed to investigate the usability of gneisses as concrete aggregate in Sarıçay Dam RCC and conventional concretes. The production of two groups of gneiss materials obtained from the rock quarry and the stream bed as aggregate after crushing and screening processes, and materials such as limestone, fly ash, cement and chemical additives that are considered to be used in the studies were provided under the control of the 21st Regional Directorate of DSI. This research, carried out in 2019, 2021 and 2022, includes extensive laboratory studies and on-site applied research activities such as RCC and CVC full trial production at the dam site, RCC paving and compaction.

Keywords: Roller compacted concrete, aggregate, gneiss, RCC, Dam, Water structures

1. GİRİŞ

Beton hacminin yaklaşık dörtte üçünü oluşturan agregaların kalitesi ve özellikleri kaçınılmaz olarak taze ve sertleşmiş beton üzerinde önemli etkilere sahiptir. Dolayısıyla agrega tipinin seçimi beton kalitesi açısından baskın bir faktör olarak ön plana çıkar ve betonun performansını büyük ölçüde etkiler. İster doğal aşınma ve ayrışmalar şeklinde oluşmuş olsun ister yapay olarak kırma parçalamayla oluşturulmuş olsun, agrega olarak kullanılan malzeme başlangıçta daha büyük boyutlardaki bir kaynak kayanın parçasıdır. Bundan dolayı beton üretiminde kullanılacak agreganın fizikomekanik ve petrografik özellikleri kaynak kayanın özelliklerine bağlıdır ve bu içsel özelliklerin araştırılması mühendislik yapılarındaki olası sorunların teşhisi ve önlem alınması bakımından önem arz eder. Agreganın değerlendirilmesinde istenilen kalite ve standartları sağlamanın yanında üretim aşamasının da ekonomik olması beklenir. Beton imalatları için büyük miktarlarda agrega gereksinimine ihtiyaç duyulan projelerde sahaya en yakın olan malzeme ocaklarının tercih edilmesi agreganın kalitesi kadar önemli bir husustur. Burada amaç mümkün olan en düşük maliyetle ve tasarım kriterlerini karşılayabilen bir beton elde etmektir. Bu tip projelerde ocağa ait malzemeler ile yapılacak olan beton tasarım çalışmaları sonucunda taze ve sertleşmiş beton performanslarının proje kriterleri ve çevresel etkiler açısından değerlendirilmesi sonucunda malzeme ocağının kullanımı konusunda karar verilebilmektedir. Taze ve sertleşmiş beton performanslarının değerlendirilmesi en az birkaç aylık çalışma sürecini kapsamaktadır. Beton agregası için malzeme ocağı tespitinde, agrega uygunluk deneyleri ile taze ve sertleşmiş beton özelliklerinin proje kriterleri ve çevresel etkiler açısından değerlendirilmesi gövde tipi kütle betonu sınıfında olan barajlarda en önemli aşamalardan bir tanesidir.

Sarıçay Barajı Aydın İli, Söke İlçesi , Bağarası Beldesi, Çalıışlı köyü sınırları içerisinde yapılmaktadır. Aydın'a 41 km, Söke'ye 15 km ve Bağarası'na 3,5 km mesafede yer alacak olan bu baraj Büyük Menderes havzasında, Büyük Menderes Nehrinin kollarından biri olan Sarıçay Deresi üzerinde yapılmaktadır. Gövde SSB dolgu hacmi yaklaşık 1.618.023,610 m³, konvansiyonel beton hacmi ise 83.992,496 m³'dür. Gövde temelden yüksekliği 125,00 m, talvegden 100,70 m ve kret uzuluğu ise 482,86 m dir.

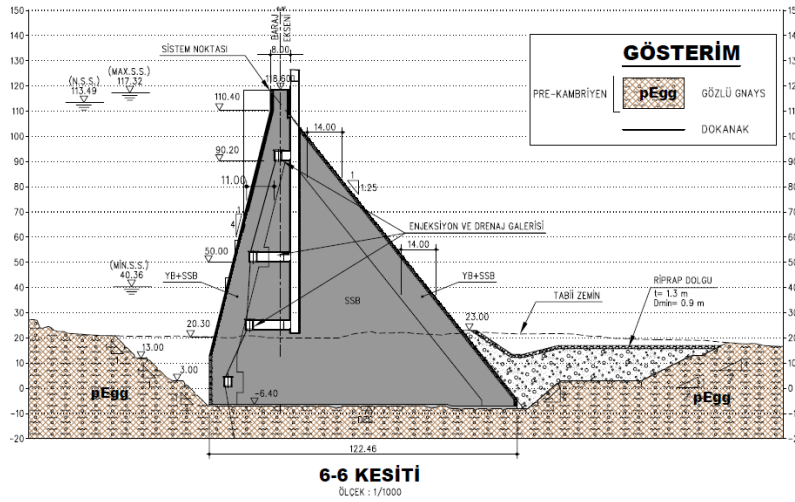
Barajın proje alanı Batı Anadolu'da oldukça geniş bir alana yayılan Menderes Masifi içerisinde yer alır. KD-GB uzanımlı Menderes Masifi 40 000 km²'den daha fazla bir alan kaplar. Prekambriyen yaşlı Pan-Afrikan temele ait birimlerin yüzlekler verdiği bu çekirdek kompleks Batı Anadolu'nun en büyük kristal segmentlerinden birini oluşturur. Batı Anadolu'da Alpin Orojenezi ile oluşmuş olan bu masif genç Oligosen-Erken Miyosen'den beri gelişen Ege Graben sistemi içerisinde yer alır ve kuzey ve kuzey batıda İzmir-Ankara Zonu, güneyde Likya Napları tarafından tektonik olarak üzerlenir ve batı uzantısı Ege Denizi'ndeki Kiklad adalarında gözlenir ([1], [2], [3], [4], [5] [6]). Menderes Masifi çekirdeğinde gözlü gnaysların olduğu bir temel ve bunun etrafını zarf şeklinde saran sırasıyla şist ve mermerden oluşur. Dürr (1975) bunu soğan yapısına benzetmiştir ve metamorfizmanın çekirdeğe doğru arttığını belirtmiştir [7]. Proje alanı ve çevresinde hakim kaya birimleri Menderes Masifi çekirdek serilerini oluşturan gnayslardır. Masifin en temel kaya türlerinden olan gnaysların granitik bir köken kayadan türediği jeokimyasal ve jeokronolojik çalışmalarla ortaya konmuştur [8]. Bu gnayslar genel olarak gözlü ve bantlı gnays olarak türlere ayrılabilirken, metamorfizma derecesine bağlı olarak granitik gnays olarak da adlandırılabilir (Şekil 1). Gnayslar gerek metamorfik dokuları (foliasyon; yapraklanma) gerekse de mineralojik içerikleri açısından ICOLD'un agrega sınıflamasında "genel olarak uygun" olarak değil "uygun olabilir" olarak sınıflanmıştır [9]. Öte yandan baraj gövdesini meydana getirecek olan silindirle sıkıştırılmış ve konvansiyonel betonların agregalarında bahsi geçen gnaysların kullanımı sahaya en yakın ve en ekonomik durumun tesis edilmesi bakımından kritiktir. Literatür araştırmaları neticesinde, gnaystan meydana gelen ana kaya ve jeolojik formasyon üzerine baraj gövdesi inşaa edilmesi örneklerine az da olsa rastlanılan bir durum olduğu görülmüştür. Bundan dolayı mevcut çalışma gövdenin inşasında beton agregası olarak lokal gnays malzemesinin standartlara uygunluğunun araştırılması ve değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Çalışma gnays malzemesinin hem bu proje hem de gelecekteki projelerde kullanımının uygulamalı araştırması hem de literatüre kazandırılması açısından önem arz etmektedir.

Literatüre bakıldığında gnaysların beton üretiminde kullanıldığı örneklere rastlanmaktadır. Leroy et al. (2017) ince agregalarla yaptığı çalışmada dere agregası yerine ganystan üretilen kırma agregayı kullanarak 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarında sırasıyla %5.5'lik ve %8.33'lük iyileşme elde etmiştir [10]. Ling at al. (2010) gnayslardan agrega üretiminde kırma teknolojisine dikkat çekmiş, kırma yönünün fazla miktarda yapraksı mineral (mika) açığa çıkaracak şekilde olmaması gerektiğini vurgulamıştır. Bazalt, granit, kireçtaşı ve gnays agregalar kullandığı bu çalışmada Los Angeles deneyinde en yüksek direnci bazaltın gösterdiğini bunu da sırasıyla granit gnays ve kireçtaşının takip ettiğini belirtmiştir [11]. Woode et al. (2015) farklı boydaki iri gnays agregalarıyla yürüttüğü çalışmada daha küçük tane boyutlarındaki agregayla yapılan betonun daha yüksek dayanımlara ulaştığını belirterek bunun nedeninin iri tane boylarında heterojenliğin ve mikro kırık oluşumlarının artması olduğu sonucuna varmıştır [12]. Nanayakkara et al. (2022) farklı metamorfik kayaların beton agregası olarak kullanılabilirliğini araştırdığı çalışmada hornblend-gnays ve granitik gnaysların uygun

şartları sağladığı sonucuna varmıştır. Aynı çalışmada mikaların beton performansını olumsuz anlamda etkilediğini ve bunun yanında illit ve piritin de istenmeyen minerallerden olduğunu belirtmiştir [13]. Trotta et al. (2021) migmatitik gnayslar üzerinde yaptığı çalışmada heterojenliğe dikkat çekerek kırma teknolojisinin bu heterojen parçalardan en dayanıklısına göre ayarlanması gerektiğini vurgulamıştır. Aynı çalışmada heterojen kayaç yapısına örnek alım aşamasında da dikkat edilmesi gerektiğinin üzerinde durmuştur [14]. Vishalakshi et al. (2018) yaptığı çalışmada beton üretiminde aralarında granit, kireçtaşı ve gnaysların da bulunduğu farklı tipte agregaları kullanarak yüksek dayanımlarda agrega tipinin belirleyici olduğu sonucuna varmıştır. Aynı çalışma normal dayanımlarda agrega tipine göre belirgin farklılıkların ortaya çıkmadığı belirtilmiştir. Çalışmada ayrıca petrografik ve mineralojik özelliklerim beton performansında doğrudan etkili olduğunu vurgulamıştır [15].

2. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Aydın Söke Sarıçay Baraj gövde tasarımında proje müelliflerince kota bağlı olarak gövde betonlarında dayanım azaltma işlemi uygulanmış ve gövde analiz sonuçlarına göre -14,0 ila 3,0 m kotları arasında 12 MPa, 3,0 m ila 45,0 m kotları arasında 10 MPa, 45,0 m ila 60,0 m kotları arasında 8 MPa ve 60,0 m ila 118,0 m kotları arasında ise 7 MPa 270 günlük hedef basınç dayanımlarının belirlendiği ifade edilmektedir.



Şekil 1. Aydın Söke Sarıçay Barajı gövde kesiti ve gözlü gnayslar

Bu çalışmada belirtilen basınç dayanımları ile karışım oranları ve toplam bağlayıcı miktarları arasında ilişkiler kurularak proje kriterlerini karşılayacağı düşünülen karışımların belirlenmesi amaçlanmıştır. Sarıçay Barajı İnşaatı işinde gövde dolgusu için silindirle sıkıştırılan beton (SSB) ile konvansiyonel beton tasarımlarının yapılması için baraj sahası kaya ocağına ait gnays cinsi kayaç ve dere yatağından alınan doğal şekillenmiş gözlü gnays malzemeler ile kırma eleme tesisinde elde edilen maksimum tane büyüklüğü $D_{maks}=50,8$ mm olan dört sınıf agrega (0-4,75 mm, 4,75- 12,7 mm ve 12,5-25,4 mm ve 25,4,0-50,8 mm), 1 tip çimento (CEM I 42,5R) ve 1 adet tip II mineral katkı (Yatağan Termik Santrali uçucu külü) malzemeleri üzerinde çalışılmıştır. İlave olarak daha önce beton imalatında kullanıldığı bilinen kalker (kireçtaşı) türü malzeme de benzer şekilde 4 sınıf agrega olarak gnays ile karşılaştırma yapılması amacıyla gönderilmiştir. Laboratuvarımızda gnays türü malzeme ile SSB ve konvansiyonel beton tasarımları

hazırlanarak agrega fiziksel ve kimyasal parametreler bakımından uygun olduğu bilinen kalker malzeme ile tasarlanan SSB ve konvansiyonel beton tasarımları ile karşılaştırma yapılmıştır. Laboratuvar çalışmalarının akabinde karışım oranları uygun olduğu düşünülen tasarımların şantiye imkanları ile yerinde deneme üretimleri, serimleri ve sıkıştırma faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Bu bildiri metninde 2019, 2021 ve 2022 yıllarında gerçekleştirilen araştırma çalışmalarının bir kısmı paylaşılmıştır.

2.1. Agrega Fiziksel ve Kimyasal Deneyleri

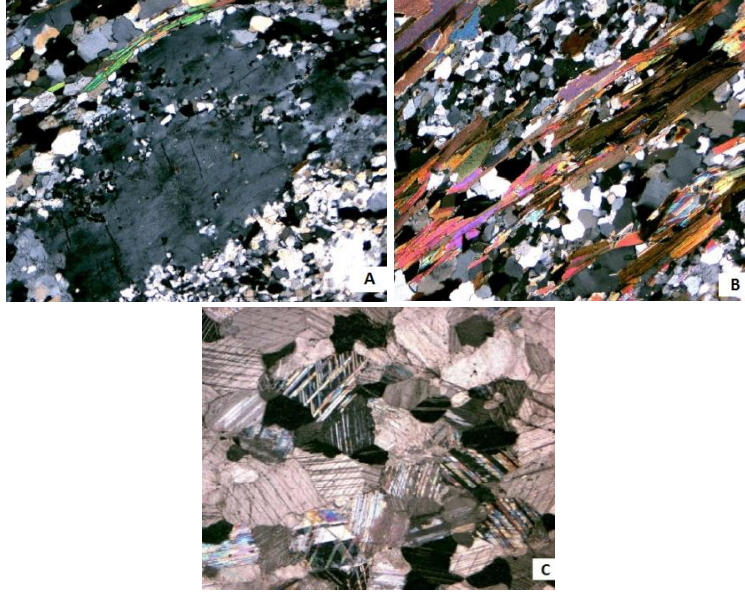
Uygulamalı araştırma çalışması kapsamında, farklı zaman aralıklarında gerçekleştirilen agrega deneylerine ait bilgiler Tablo 1’de belirtilmiştir.

Tablo 1. Gerçekleştirilen agrega deneyleri

Deney Adı	Deney Standardı
Agrega Karışımlarının Elek Analizi Tayini	ASTM C136
Taneler Arası Boşluklu Birim Hacim Kütle ve Boşluk Oranı Tayini	ASTM C29
Yoğunluk, Bağlı Yoğunluk ve Su Emme Oranı Tayini (İri Agrega)	ASTM C 127
Yoğunluk, Bağlı Yoğunluk ve Su Emme Oranı Tayini (İnce Agrega)	ASTM C 128
Parçalanma Direncinin Tayini (Los Angeles, 500 Devir)	ASTM C 131
Dona Dayanıklılığın Kimyasal Yöntemle Tayini (Na ₂ SO ₄)	ASTM C 88
Agrega Kırılma Değeri Tayini	BS 812-110
Metilen mavisi deneyi	TS EN 933-9
Beton Agregalarında Tabii Don Tayini	TS EN 1367-1
Petrografik inceleme	TS EN 12407
Doğal taşlar terimler ve tarifler (kayaç tanımlama işlemi)	TS EN 12670

2019 yılında Sarıçay Barajı gnays malzemesi araştırma çalışması için araziden alınan ilk numune grubu üzerinde laboratuvar ortamında başlanmıştır. Bu tarihte gerçekleştirilen Sarıçay Barajı agregaları elek analizi sonucunda 0-4,75 mm, 4,75- 12,7 mm ve 12,5-25,4 mm ve 25,4-50,8 mm olarak 4 sınıf olarak çeşitlendirildiği tespit edilmiştir. Gnays cinsi malzemenin ince agregasında kirlilik yönünden incelenmesi için gerçekleştirilen metilen mavisi deney sonuçlarında kırma gnays için 3,3 ve dere yatağından alınan gnays malzeme ince agregasında 1,3 değeri tespit edilmiştir. Çok ince malzeme içeriği (0,075 mm’den geçen malzeme) kırma malzemede yaklaşık %12 ve dere malzemesinde %6,2 civarında elde edilmiştir. Yaklaşık %16 çok ince malzeme içeren kireçtaşı malzeme için yapılan metilen mavisi deneyinde ise 3,3 metilen mavisi değeri elde edilmiştir. Özgül ağırlıkları yaklaşık olarak 2,65 g/cm³ olan gözlü gnays 0-5 mm kırma agregasında ve dere yatağından alınan gözlü gnays 0-5 mm agregasında su emme değerleri sırası ile %1 ve %0,8 olarak elde edilmiştir. Kalker malzemede ise bu değer %1,7’dir. Dona dayanıklılığın kimyasal yöntem ile tayini (sodyum sülfat) deney sonuçları ise kırma ve dere agregası (0-5 mm) gnayslarında sırası ile %9 ve %4 olarak elde edilmiştir. Orta ve iri agregalarda da bu değerlere yakın sonuçlar elde edilmiştir. Parçalanmaya karşı direnç tayini Los Angeles deneyinde kırma ve dere gnayslarında 25-50 mm anma boyut aralığında 100 devirde sırası ile %17 ve %15, 500 devirde ise sırası ile %54 ve %51 değerleri elde edilmiştir. Agrega kırılma değeri tayini sonuçları kırma ve dere gnaysları 15-25 mm anma boyut aralığı için sırası ile %29,4 ve %29,6 olarak ölçülmüştür.

25-50 mm anma boyut aralığında gnays ve kireçtaşı agregaları üzerinde petrografik inceleme ve tanımlama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Numunelerden hazırlanan ince kesitler, polarizan mikroskopta incelenmiş, numunelere ait doku ve yapı, mineralojik bileşimi, alterasyon gibi mikroskobik özellikleri tespit edilerek tanımlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kayaçların bir kısmının bantlı gnays, ekseriyetinin ise gözlü gnays cinsinde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2. Gözlü (A) ve bantlı (B) gnays ve kristalize kireçtaşı (C) dokularının mikroskobik incelemesi (x25,xpl)

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen mikroskobik inceleme sonuçlarının bir kısmı Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 2-A mikro fotoğrafta numunenin gözlü gnays dokusu görülmektedir. Ortadaki gri renkli mineral göz halindeki alkali feldspat kristalidir. Kuvars çatlağı ile kesilmiş olduğu anlaşılmıştır. Porfiroblastın üstünde kuvars bandı ile mika seviyesi, altta ise kuvarsofeldspatik bant tespit edilmiştir. Foliyasyon gösteren numunenin dokusunun bazen kıvrımlı, düzgün ve devamlılık gösteren ince granoblastik bantlar ile lepidoblastik seviyelerin araldanması şeklinde gözlenen lepidogranoblastik gnays dokusu olduğu ve porfiroblastik ve mirmekitik doku gibi dokusal çeşitlilik gösterdikleri tespit edilmiştir.

Şekil 2-B’de ise numunenin bantlı gnays dokusu görülmektedir. Gri, beyaz renkli mineraller kuvars bantları ile kuvarsofeldspatik bantları oluşturdukları anlaşılmıştır. Renkli yapraklı ve şeritimsi kristaller ise mika seviyelerini göstermiştir. Araldanma net biçimde görülmüştür. Foliyasyon gösteren numunenin dokusu, düzgün ve devamlılık gösteren ince granoblastik bantlar ile lepidoblastik seviyelerin araldanması şeklinde gözlenen lepidogranoblastik gnays dokusu olduğu anlaşılmıştır. Gözlü ve bantlı gnaysların hakim mineralinin kuvars olduğu tespit edilmiştir. Esas minerallerinin kuvars, alkali feldspat, plajiyoklaz, biyotit, muskovit olduğu belirlenmiştir. Tali minerallerin grafit ve zirkon olduğu belirlenirken ikincil mineralin düşük miktarda ve zararsız olduğu düşünülen kil (kaolin) olduğu anlaşılmıştır.

Şekil 2-C’de mikroskobik olarak yönlenme gösteren, hemen hemen eş boyutlu ve mozaik (granoblastik) dokulu kristalize kireçtaşı numunesinin, poligonal şekilli kalsit ve az

orandaki dolomit kristallerinin düzgün, basit kristal sınırları boyunca kenetlenmesinden oluştuğu görülmüştür. Ortalama 0,8 mm tane iriliğine sahip, kaba taneli (makrokristalin) kalsitler, polisentetik ikizli (kayma ikizli), rombohedral dilinimli, kristaller halinde gözlenmiştir. Kristaller, grafit olması muhtemel ince opak kapanımlar içerdiği anlaşılmıştır. Numunelerin tamamında alkali silika reaksiyonuna neden olacak minerale raslanmamış, killeşmenin ise feldspat minerallerinin şişme özelliği bulunmayan kaolin minerallerine dönüşmesi şeklinde oluştuğu tespit edilmiştir.

2021 yılında, Sarıçay Barajı kaya ocağının farklı derinlik ve konumlarından elde edilen ikinci grup gözlü gnays kırma malzemeleri üzerinde laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Agregalarda gerçekleştirilen elek analizi neticesinde malzemelerin 0-4,75 mm, 4,75- 25,4 mm ve 25,4-50,8 mm olarak 3 sınıf olarak çeşitlendirildiği tespit edilmiştir. Gnays cinsi malzemenin ince agregasında kirlilik yönünden incelenmesi sonucunda metilen mavisi deney sonuçlarında 2,0 değeri tespit edilmiştir. Çok ince malzeme içeriği (0,075 mm'den geçen malzeme) kırma malzemedede yaklaşık %8,4 olarak elde edilmiştir. İnce agregada dona dayanıklılık (sodyum sülfat ile) %8, tabii donma çözülmeye karşı direnci ise 5-19,1 mm agrega için %1,3'dür.

2.1.1 Agregası Fiziksel ve Kimyasal Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Sarıçay Barajı SSB ve CVC betonlarında incelenen gözü gnays malzemesinin kullanıma elverişli olup olmadığının belirlenmesi için DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığınca hazırlanan DSİ Beton İşleri Teknik Şartnamesine başvurulmuştur. Bu şartnamenin, DSİ Genel Müdürlüğünce tamamlanan birçok su yapısı, sanat yapısı, arıtma tesisi, köprü, tünel ve taşkın koruma gibi betonun yoğun bir biçimde kullanıldığı yapıların inşaat ve kullanım süresince edinilen bilgi ve kurumsal tecrübe ile ortaya çıkarılmış olan inşaat yapım ve malzeme kriter ve gerekliliklerine ait bilgileri içerdiği görülmüştür. Örneğin beton agregası hususunda TS EN 206 ve onun tamamlayıcısı olan TS 13515, TS 706 EN 12620, ASTM C33 gibi standartlarda belirtilen bazı kriter değerler ile tecrübeye dayalı olarak tayin edilen değerleri içerisinde barındırdığı anlaşılmıştır.

Araştırma kapsamında agregalar üzerinde yapılan ayrıntılı mikroskobik/mineralojik ve X ışını difraktometresi (XRD) analiz sonuçları malzemenin gnays türü kayaç olduğu, içerisinde az miktarda kaolin türü zararlı derecede şişmeyen türden kil olduğu belirlenmiş ve ayrıca ASR yönünden herhangi bir zararlı mineral içermediği tespit edilmiştir. Gnays cinsi malzemenin özgül kütle (yoğunluk) ve su emme değerleri şartname kriterlerini sağlamıştır. Gnays türü malzeme üzerinde yapılan Los Angeles aşınma kaybı deneyinde limit değerinin bir miktar üzerinde aşınma kaybı elde edilmiştir. Dona dayanıklılığın kimyasal yöntemle tayini deneyinde tüm sonuçlar sınırın altında kalmış olup gnays cinsi kayacın dona dayanıklılığı şartname kriterlerini sağlamıştır. Özellikle SSB türü betonlarda silindirle sıkıştırılması sırasında agregaların parçalanması istenmediğinden agrega kırılma değeri tayini deneyi yapılmış olup maksimum %30 olan sınırın altında sonuç elde edilmiştir. Metilen mavisi deney sonuçlarının şartname kriterini sağladığı görülmüştür.

Yukarıda belirtilen çıkarımların, şantiye sahasından temin edilen kayaç ve agregaların beton agregası olarak kullanımı hususunun olumlu şekilde neticelenmesi ile gerek SSB ve gerekse konvansiyonel beton tasarımlarında gnays malzemenin kullanımının taze ve sertleşmiş beton parametreleri bakımından araştırılması kısmına geçilmiştir.

2.2. Taze ve Sertleşmiş Beton Deneyleri

Uygulamalı araştırmanın ikinci kısmında, farklı zaman aralıklarında gerçekleştirilen taze ve sertleşmiş beton deneylerine ait bilgiler Tablo 2’de belirtilmiştir.

Tablo 2. Gerçekleştirilen taze ve sertleşmiş beton deneyleri

Deney Adı	Deney Standardı
Taze beton deneyleri, vebe deneyi, kıvam tayini	TS EN 12350-3
Silindir kalıplarda SSB yapımı, vebe titreşim tablası	ASTM C1176/1176M
Taze betonda hava içeriğinin tayini	TS EN 12350-7
Sertleşmiş betonda basınç dayanımı tayini	TS EN 12390-3
Sertleşmiş betonda yarmada çekme dayanımı tayini	TS EN 12390-6
Sertleşmiş betonda permeabilite tayini	TS 3455
Sertleşmiş betonda sekant elastisite modülü tayini	TS EN 12390-13
Sertleşmiş betonda direkt çekme dayanımı tayini	CRD-C 164 ve DSİ işletme içi yöntem

Aydın Söke Sarıçay Barajı taze ve sertleşmiş beton çalışmaları 2019, 2021 ve 2022 yıllarında gerçekleştirilmiştir. 2019 yılında gerçekleştirilen kısımda proje mukavemet parametreleri proje müellifleri tarafından henüz belirlenmemiştir. Bu yılda gerçekleştirilen araştırma ile beton agregası olarak kullanımı uygun olduğu sonucuna varılan gnays malzemesinin betonun kıvam, işlenebilirlik, basınç dayanımı gibi taze ve sertleşmiş SSB ve CVC parametrelerine etkisinin araştırılması amacı ile çalışmalara devam edilmiştir.

2021 yılında revize süreçleri akabinde proje müellifleri tarafından belirlenen; 270 günlük SSB Basınç Mukavemeti 10 MPa, SSB Doğrudan Çekme Mukavemeti (asgari): 0,60 MPa, SSB Tabakalararası Doğrudan Çekme Mukavemeti (asgari): 0,50 MPa, SSB Dinamik Doğrudan Çekme Mukavemeti: 0,9 MPa, SSB Elastisite Modülü: 17,7 GPa, CVC Beton Elastisite Modülü: 28,0 GPa, CVC Beton Karakteristik Basınç Dayanımı C20/25 değerlerinin sağlanmasına yönelik çalışmalar laboratuvarında ve arazide (yerinde) gerçekleştirilmiştir.

2022 yılında baraj gövdesinde SSB beton mukavemet parametreleri proje müellifleri tarafından son revize işlemine tabi tutulmuş ve gövde -14,0 ila 3.0 m kotları arasında 12 MPa, 3,0 m ila 45,0 m kotları arasında 10 MPa, 45,0 m ila 60,0 m kotları arasında 8 MPa ve 60,0 m ila 118,0 m kotları arasında ise 7 MPa 270 günlük hedef basınç dayanımlarının elde edilmesi gerektiği ifade edilmiştir. 2022 yılında, kesinleşen bu değerlere yönelik 2021 yılında belirlenen mevcut karışım oranları üzerinde teorik bir çalışma gerçekleştirilerek 2022 yılına ait SSB nihai karışım oranları belirlenmiştir.

2.2.1 2019 Yılı Taze ve Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Araştırma faaliyetlerinin 2019 yılında gerçekleştirilen kısmında Sarıçay Barajı, Baraj Gövdesi SSB kütle betonu tasarımı için CEM I 42,5 R sınıfı çimento ve F sınıfı uçucu kül ile farklı toplam bağlayıcı dozajlarında ve %40 oranında uçucu kül kullanarak her bir agrega malzemesi için 3 farklı toplam bağlayıcı dozajında karışımlar hazırlanmış olup farklı deneyler için numuneler alınmış ve normal şartlarda kür ile elde edilen 90 günlük sonuçlarından hareketle tahmini 180 ve 270 günlük sonuçlar elde edilerek değerlendirmeler yapılmıştır. vebe deneyinde SSB yerleştirme ve sıkıştırma süresi 15 ila

25 s arasında ayarlanacak şekilde su içeriği belirlenmiştir. Bu süreler normal bir SSB için beklenen değerlerdir. Tüm beton karışımlarında hava içeriği dâhil taze beton birim ağırlığı bu deney ile elde edilmiştir. Ayrıca, SSB için elde edilen teorik birim kütle değerleri ile karşılaştırma yapılmıştır. Bu yılda gerçekleştirilen çalışmalar kaya ocağı kırma gnays, dere malzemesi gnaysı ve kalker malzemesi kullanılarak gerçekleştirilen tasarım çalışmalarını içerir.

Taze betonda 1 m³ beton için su ihtiyacı normal bir SSB’de bulunan su miktarına göre bir miktar yüksek (5-10 kg/m³) elde edilmiştir. Bunun nedeni, ince malzeme içeriğinin yüksek olması, agrega özgül yüzey alanının fazla olması, uçucu külün inceliğinin fazla olması ve az da olsa kaolin kil içermesinden kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Ancak, kalker malzeme için de su ihtiyacı diğerleri ile kıyaslandığında 5 ila 10 kg/m³ daha fazla tespit edilmiş olup bu değerler önemli mertebede olmadığı çıkarımında bulunulmuştur. Su içeriğinin bir miktar artması ile sonuç olarak betondaki çimento miktarının da artmasına da neden olduğu tespit edilmiştir.

SSB’nin işlenebilirliği, kıvamı ve kohezyonu istenilen düzeyde bulunmuş olup betonda herhangi bir segregasyon gözlenmemiştir. Tasarımlarda vebe süresi 15-25 s arasında olacak şekilde ayarlanmıştır.

SSB tasarımında örneğin 270 günde hedef dayanımın 20 MPa olduğu bir betonda dere yatağından alınan gnays ile yapılan SSB için toplam bağlayıcı 160 kg/m³, kaya ocağından elde edilen kırma gnays malzeme ile tasarlandığında toplam bağlayıcı miktarı yaklaşık 165-170 kg/m³ ve kireçtaşı (kalker) ile yapılan SSB tasarımında toplam bağlayıcı içeriği 135 kg/m³ olarak elde edilmiştir.

Gnays malzeme ile SSB tasarımlarının yapılmasında herhangi bir olumsuzluğa rastlanmamıştır. Elde edilen dayanımlar yeterli düzeyde bulunmuştur. Hedef dayanım yaşının 90 gün yerine 180 veya 270 gün seçilmesi ile toplam bağlayıcı miktarının büyük oranda azalabileceği grafiklerden anlaşılmıştır.

Konvansiyonel beton tasarımında kırma gnays kullanılan betondaki su ihtiyacı SSB’de tespit edildiği gibi kalker malzemeye göre bir miktar daha artmıştır. Betondaki su ihtiyacını mümkün mertebe azaltmak için yüksek oranda su azaltıcı ve akışkanlaştırıcı kimyasal katkıdan yararlanılmış ve slump değerleri pompa ile iletilen betonunkine eşdeğer olacak şekilde 10-15 cm şeklinde ayarlanmıştır. Ancak, betonun su ihtiyacı artmasına rağmen dayanımlarda belirgin bir şekilde azalma görülmemiştir.

Beton tasarımlarında yaklaşık 300 – 375 kg/m³ arasında toplam bağlayıcı kullanılmış olup bu değerlerin %25’i uçucu kül olarak belirlenmiştir. Su ihtiyacının artmasında kilin varlığı ve uçucu külün inceliği etkili olduğu çıkarımında bulunulmuştur.

Çok ince malzeme içeriği yüksek olan kırma malzemelerle kimyasal katkı miktarı %1,5 olarak kullanılırken dere malzemesinde çok ince malzeme içeriği daha düşük olduğundan bu oran %1,2 olarak belirlenmiştir.

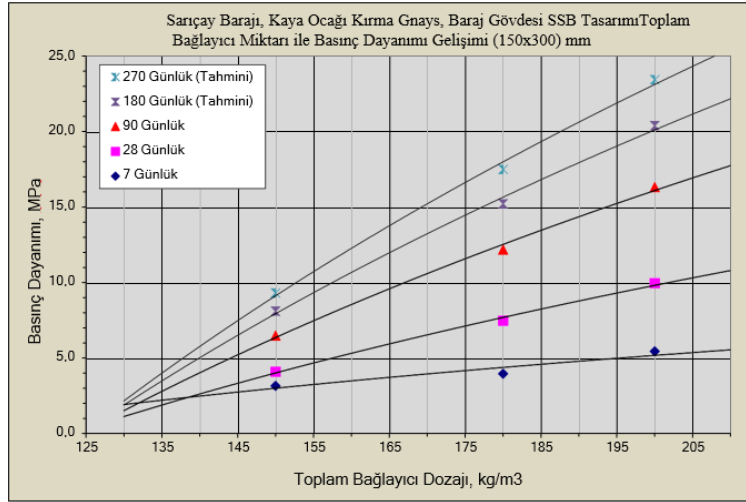
CVC beton tasarımında örneğin hedef dayanım yaşının 90 gün olduğu C30/37 WR geçirimsiz beton sınıfı için hedef dayanımın küp numune için 37+6=43,0 MPa olduğu bir betonda kaya ocağından elde edilen kırma gnays ile yapılan beton için toplam bağlayıcı 375 kg/m³, dere yatağından elde edilen doğal gnays malzeme ile tasarlandığında toplam

bağlayıcı miktarı yaklaşık $330-340 \text{ kg/m}^3$ ve kireçtaşı ile yapılan SSB tasarımında toplam bağlayıcı içeriği 350 kg/m^3 olarak elde edilmiştir. Elde edilen konvansiyonel beton tasarımlarında standart beton küp numuneler ($150 \times 150 \times 150$) mm kullanılmıştır.

Normal agregası ile yapılan konvansiyonel beton (CVC) için belirlenen toplam bağlayıcı içeriği ve gnays malzeme ile yapılan betonların toplam bağlayıcı içeriğinde fazla bir artış olmamış olup kırma gnays ile karşılaştırıldığında 25 kg/m^3 bir fark tespit edilmiştir. Bu değerlendirme C30/37 geçirimsiz beton sınıfı için geçerlidir.

2.2.2 2021 Yılı Taze ve Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

2021 yılı Sarıçay Barajı proje paftasında belirtilen kriterler doğrultusunda SSB ve CVC betonlar için toplam bağlayıcı dozajları belirlenmiştir. SSB için basınç dayanımı ve doğrudan çekme dayanımı (150×300) mm silindir numuneler için 270 günde sırasıyla 10 MPa ve 0,60 MPa olması gerektiği proje müellifleri tarafından belirlenmiştir. Bu değere ve basınç dayanımına göre kırma gnays, dere malzemesi gnaysı ve kalker malzemesi kullanılarak SSB karışım oranları çalışılmıştır. 180 ve 270 günlük deney sonuçları, boyutları 150×300 mm olan silindir numunelerden elde edilen 7, 28 ve 90 günlük deney sonuçları üzerinden hesaplanarak elde edilmiştir. Araştırmanın 2021 yılına ait deney sonuçlarından yalnızca kırma gnays malzemesi kullanılarak elde edilen numunelere ait sonuçların bir kısmı paylaşılmıştır.

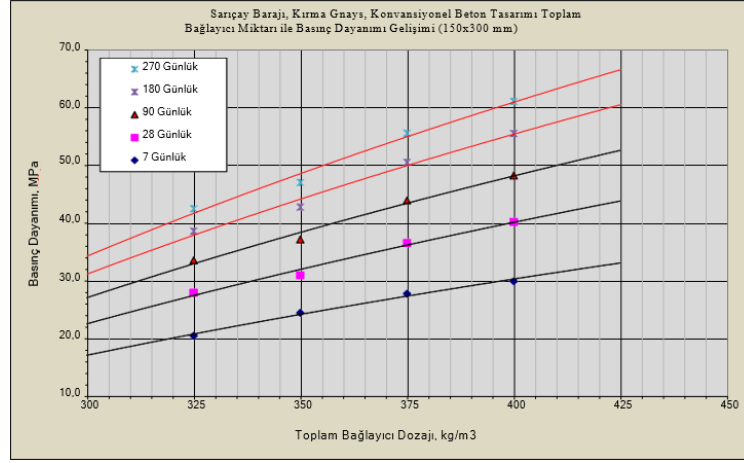


Şekil 3. 2021 yılı kaya ocağı kırma gnays malzemesi ile yapılan SSB tasarımlarından elde edilen basınç dayanımı ile toplam bağlayıcı içeriği arasındaki ilişki

Yukarıdaki şekilde elde edilen sonuçlar uygulamalı araştırma çalışmamızın en önemli sonuç grafiklerindedir. 2021 yılı proje kriterlerine göre üretilen SSB silindir betonlarına ait sonuçlarla çizilen bu grafik 2022 yılında tekrar ve gövde üzerinde kademeli olarak revize edilen basınç dayanımlarına teorik olarak geçiş çalışmasında kullanılmıştır. Grafikten anlaşılacağı üzere bu çalışmada $130, 150$ ve 200 kg/m^3 toplam bağlayıcı miktarları ve bu miktarların %40'ı oranında F sınıfı uçucu kül, her bir karışımda 165 litre karışım suyu kullanılmıştır. Kullanılan orta düzey akışkanlaştırıcı ve priz geciktirici özelliklere sahip kimyasal katkı miktarı her bir karışım için sırası ile $1,95, 2,25$ ve $3,0 \text{ kg/m}^3$ 'tür. Ölçülen vebe süresi 25-30 s aralığındadır. Karışımda kullanılan toplam agreganın içerisindeki kütlece dağılım oranları; 0-5 mm ince agregası %38, 5-25,4 mm %35 ve 25,4-50,8 mm agregası ise %33 oranındadır. Verilen grafikte (Şekil 3) proje kriteri

olarak belirtilen 10,0 MPa 270 günlük basınç dayanımı değerini ve buna karşılık gelen 0,60 MPa direk çekme dayanımı değerini en az 155 kg/m³ toplam bağlayıcı değerinin sağladığı tespit edilmiştir. Elde edilen karışım doğrulama çalışma sonuçları ve proje parametrelerindeki değişikliklere göre gerek taze beton ve gerekse sertleşmiş beton özellikleri değerlendirilerek bu yıla ait son karışım oranlarına karar verilmiştir.

2021 yılında gerçekleştirilen konvansiyonel beton tasarımlarının toplam bağlayıcı dozajı ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiler Şekil 4’de verilmiştir. Hedef dayanım yaşına ve dayanıma bağlı olarak toplam bağlayıcı miktarları tahmin edilebilmektedir.



Şekil 4. 2021 yılı kaya ocağı kırma gnays malzemesi ile yapılan CVC tasarımlarından elde edilen basınç dayanımı ile toplam bağlayıcı dozajı arasındaki ilişki

Şekil 4’den anlaşıldığı üzere CVC beton tasarımlarında yaklaşık 325, 350, 375 ve 400 kg/m³ arasında toplam bağlayıcı kullanılmış olup bu değerlerin %25’i uçucu kül olarak belirlenmiştir. CVC beton tasarımında bu yıl için proje kriteri olarak C20 beton sınıfı tarif edilmiş olup bu değer geçirimsizlik için yeterli bulunmamıştır. Beton sınıfının en az C30/37 WR beton sınıfı olması hedeflenmiştir. Hedef dayanım silindir numune için en az 30,0 MPa olan bir beton için kaya ocağından elde edilen kırma gnays ile yapılan beton için toplam bağlayıcı yaklaşık 350 kg/m³ olarak tespit edilmiştir.

2.2.2.1 2021 Yılı Taze ve Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kırma gnays malzeme ile yapılan SSB tasarımında vebe süresine bağlı olarak yaklaşık 165 kg/m³ ve 170 kg/m³ karışım suyu içeriği ve konvansiyonel beton tasarımında yaklaşık 190 ila 200 kg/m³ su içeriği tespit edilmiştir. Yüksek su içeriğinin nedenlerinden bir tanesi gnays türü ince agreganın özgül yüzey alanının fazla olması ve karışımlarda bir santralden temin edilen F sınıfı uçucu külün inceliğinin yüksek olması da karışım suyu içeriğinin artmasına yol açtığı çıkarımında bulunulmuştur. Taze betonda 1 m³ beton için su ihtiyacı normal bir SSB’de bulunan su miktarına göre bir miktar yüksek elde edilmiştir. Su içeriğinin bir miktar artması, sonuç olarak betondaki çimento miktarının artmasına da neden olmuştur.

SSB’nin işlenebilirliği, kıvamı ve kohezyonu istenilen düzeyde bulunmuş olup betonda herhangi bir segregasyon gözlenmemiştir. Tasarımlarda 165 kg/m³ su içeriği ile 20-30 s vebe süresi elde edilirken su içeriği 170 kg/m³ olan karışımlarda 15-25 s arasında olacak şekilde ayarlanmıştır. SSB tasarımında 270 günde basınç dayanımı 10 MPa ve doğrudan

çekme dayanımının 0,60 MPa olduğu durumda SSB için toplam bağlayıcı 155-165 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Gnays türü agregalar ile SSB tasarımlarının yapılmasında herhangi bir olumsuzluğa rastlanmamıştır. Elde edilen dayanımlar yeterli düzeyde bulunmuştur.

Konvansiyonel beton tasarımında betondaki su ihtiyacı SSB’de tespit edildiği gibi normal betonda olduğundan daha fazla bulunmuştur. Betondaki su ihtiyacını mümkün mertebe azaltmak için yüksek oranda su azaltıcı ve akışkanlaştırıcı kimyasal katkıdan yararlanılmış ve slump değerleri pompa ile iletilen betonunkine eşdeğer olacak şekilde 15±3 cm şeklinde ayarlanmıştır. Ancak, betonun su ihtiyacı artmasına rağmen dayanımlarda belirgin bir şekilde azalma görülmemiştir. Su ihtiyacının artmasında şişebilen kil olmayan ve nispeten sertleşmiş betona zarar vermeyen fakat taze beton parametrelerine etki edebilen kaolin kilinin varlığı ve uçucu külün inceliği etkili olabileceği düşünülmüştür.

2.2.3 2022 Yılı Teorik Olarak Karışım Oranlarının Belirlenmesi Çalışmaları

2022 yılı Sarıçay Barajı Gövde Dinamik Analiz Raporunda kota bağlı dayanım azaltması uygulaması bölümünde verilen analiz sonuçlarına göre baraj gövdesi -14,0 ila 3,0 m kotları arasında 12 MPa, 3,0 m ila 45,0 m kotları arasında 10 MPa, 45,0 m ila 60,0 m kotları arasında 8 MPa ve 60,0 m ila 118,0 m kotları arasında ise 7 MPa hedef dayanımların belirlendiği ifade edilmiştir. Bu rapor içerisinde geçtiği belirtilen basınç dayanımı ile toplam bağlayıcı arasındaki ilişkiler kullanılarak yapılan değişiklik bilgilerine göre SSB için yeni karışım oranlarının grafiksel yaklaşımla hesaplanması amaçlanmıştır. 2021 yılında gerçekleştirilen ve 270 günlük 10 MPa silindir basınç dayanımı toplam bağlayıcı dayanım gelişimini gösteren grafik üzerinden revize edilen ve kota dayalı 7, 8, 10 ve 12 MPa basınç dayanımlarına karşılık gelen karışım oran ve çimento miktarlarının teorik olarak hesaplama işlemi gerçekleştirilmiştir.

3. YERİNDE (ARAZİ) DOĞRULAMA ÇALIŞMALARI

2019, 2021 ve 2022 yıllarında gerçekleştirilen Aydın Söke Sarıçay Barajı gözlü gnays kayaçlarının beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, SSB ve CVC tasarımlarının uygulamalı araştırılarak gerçekleştirilmesi faaliyetleri yine aynı yıllarda gerçekleştirilen arazi çalışmaları ile devam etmiştir. Laboratuvarında uygun olduğu görülen karışımlar şantiye olanakları ile üretilip, deneme serimleri ve silindirle sıkıştırma işlemlerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Şantiye sahasına farklı yıllarda teknik seyahatler düzenlenerek uygun olduğu düşünülen ve revize edilen proje kriterlerine göre üretilen karışımların işlenebilirlik, kıvam, sıkıştırılabilirlik yönünden ve deneme serimlerinden alınan karotlar üzerinden de mukavemet parametreleri bakımından araştırılması amaçlanmıştır.



Şekil 5. 2021 yılı arazi çalışmalarına ait bazı görseller

Yapılan arazi çalışmalarında örneğin 2021 yılında şantiyede hazırlanan dolgu sahasına serilmek üzere deneme karışımları hazırlanmıştır. 130 kg/m^3 , 150 kg/m^3 ve 170 kg/m^3 toplam bağlayıcı içeren deneme dolguları 3 tabaka halinde serimleri yapılmış ve serim süresince 150×300 mm silindir numuneler alınmıştır. SSB için yapılan deneme dolgu betonlarında farklı agrega oranları, toplam bağlayıcı ile su içerikleri de denenmiş ve numuneler alınarak 7, 28 ve 90 günlük elde edilecek sonuçların değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmaların neticesinde laboratuvar ortamında gerçekleştirilen SSB ve CVC tasarımlarının yerinde başarı ile üretimleri gerçekleştirilmiş ve uygun miktarda sıkışma sağlandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, betonun sıkıştırma faktörünü bulmak amacıyla hava hariç teorik birim ağırlıktan hesaplanan kango tokmağı ile sıkıştırılmış betonun birim ağırlıkları belirlenmiştir. Çalışmada örneğin, betonun silindirle sıkıştırılması sonucunda elde edilen birim ağırlığının ölçüm sonucu hava hariç teorik birim kütle değerinin nükleer cihaza girilerek en az %98 sıkışma elde edilmesi amaçlanmıştır. Örneğin, 150 kg/m^3 toplam bağlayıcı içeren dolguda betonun silindirle sıkıştırılması sonucunda elde edilen birim ağırlık ölçüm sonucu hava hariç teorik birim kütle değerinin $(2328 / [(100 - 1,0) / 100] = 2351 \text{ kg/m}^3)$ yaklaşık %98'i ve tek problu nükleer cihazla ıslak birim kütle değeri asgari $2351 * 0,98 = 2304 \text{ kg/m}^3$ olarak okunmuştur. Betonun maksimum kuru birim hacim kütlesi $2328 - 170 = 2158 \text{ kg/m}^3$ olarak tespit edilmiştir. İnce agreganın su emme oranı belirlenerek değişiklik gözlemlendiği durumda maksimum kuru birim ağırlık tekrar hesaplanmıştır. Sıkıştırma sonrası kontrollerde betonun önceden belirlenen toplam rutubet değerini sağlamasına dikkat edilmiştir. 150 kg/m^3 toplam bağlayıcı içeren bu örnek karışımda toplam bağlayıcı miktarının %40 oranında F sınıfı uçucu kül kullanılmıştır. Aynı harmandan alınan taze beton silindir numunelere ($150 \times 150 \times 150$ mm anma boyutlarında, 270 günlük) ait basınç dayanımları 10-12 MPa aralığında, yarmada çekme dayanımı 1,70-1,90 MPa, direkt çekme dayanımı yaklaşık 0,80 MPa ve sekant elastisite modülü ise yaklaşık 18,0 GPa olarak elde edilmiştir.

4. SONUÇ

Uygulamalı araştırma çalışması, teorik ve uygulamalı karışım oranlarının başarı ile çalışıldığı, kapsamlı arazi çalışmaları ile yerinde uygulandığı bir çalışma olmuştur. Baraj gövdesinin konumlandırıldığı jeolojik formasyonun ve ana kayanın gözlü gnaysdan oluşması ve baraj SSB dolgu malzemesi için de gözlü gnays kullanılıyor olması çalışmayı özgün kılan hususlardandır.

2019 yılında dere yatağı ve kaya ocağından alınan gözlü ve bantlı gnays kayaları üzerinde yapılan detaylı araştırmalar neticesinde bu malzemenin SSB ve CVC beton agregası olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. Proje kriteri henüz belirlenmemiş olmasına karşın SSB ve CVC tasarımları gerçekleştirilerek kontrol numuneleri üretilmiştir. Taze ve sertleşmiş beton özellikleri detaylı olarak incelenmiştir. 2021 yılında proje kriterleri proje müellifleri tarafından belirlenmiş ve bu kriterlere yönelik çalışmalar farklı konulardan alınan gnays kayaç ve agrega numuneleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar ve arazi çalışmaları neticesinde uygun karışım oranları belirlenmiştir. 2022 yılında baraj gövdesi SSB beton mukavemet parametreleri tekrar revize edilmesi akabinde 2021 yılında başarı ile doğrulama çalışmalar gerçekleştirilen karışım oranları üzerinden hesaplamalar gerçekleştirilerek 2022 yılına ait teorik karışım oranları belirlenmiş ve arazi çalışmalarında karışımların gerçeği yansıttığı görülmüştür.

Kaynaklar

- [1] Sengör AMC, Yılmaz Y (1981) Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics* 75 : 181-241
- [2] Okay AI, Siyako M (1991) The new position of the I0zmir-Ankara Neo-Tethyan suture between Izmir and Balıkesir. In: Turgut S (ed) *Tectonic and hydrocarbon potential of Anatolia and surrounding regions*, Proc Symp Ozan Sungurlu, pp 333-355
- [3] Seyitoglu G, Scott BC (1991) Late Cenozoic crustal extension and basin formation in west Turkey. *Geol Mag* 128 : 155-16
- [4] Bozkurt E, Park RG, Winchester JA (1993) Evidence against the core/cover interpretation of the southern sector of the Menderes Massif, west Turkey. *Terra Nova* 5 : 445-451
- [5] Candan, O., Dora, O.Ö., Oberhänsli, R., Çetinkaplan, M., Partzsch, J., Warkus and F. C., Dürr, S., Pan-African High Pressure Metamorphism in the Precambrian Basement of the Menderes Massif, Western Anatolia-Turkey, *Int. J. Earth Sciences*, 89, 793-811, 2001.
- [6] Okay, A.I., Stratigraphic and Metamorphic Inversions in the Central Menderes Massif: A New Structural Model, *Int. J. Earth Sciences*, 89, 709-727, 2001.
- [7] Dürr S (1975) *Über Alter und geotektonische Stellung des Menderes Kristallines/SW-Anatolien und seine Aquivalente in der mittleren Agavis*. Habilitation Thesis, University of Marbug, Marbug ‘Lahn, Germany, pp 1-107
- [8] Dora, O.Ö., Candan, O., Kaya, O., Koralay, E., Akal, C. *Menderes Masifi Çine Asmasifindeki Bafa-Yatağan-Karacasu Arasında Uzananan Gnays/Şist Dokanağının Niteliği:Jeolojik, Tektonik, Petrolojik ve Jeokronolojik Bir Yaklaşım*. TÜBİTAK Projesi, İzmir, 2005
- [9] ICOLD 2012, Committee on Concrete Dams, Selection of Materials for Concrete in DAMS
- [10] Leroy, M. N. L., Molay, T. G. G., Joseph, N., Colince, F. M., & Bienvenu, N. J. M. (2017). A comparative study of concrete strength using metamorphic, igneous, and sedimentary rocks (crushed gneiss, crushed basalt, alluvial sand) as fine aggregate. *Journal of Architectural Engineering Technology*, 6(1), 1-6.
- [11] Pang, L., Wu, S., Zhu, J., & Wan, L. (2010). Relationship between retrographical and physical properties of aggregates. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, 25(4), 678-681.
- [12] Woode, A., Amoah, D. K., Aguba, I. A., & Ballow, P. (2015). The effect of maximum coarse aggregate size on the compressive strength of concrete produced in Ghana. *Civil and Environmental Research*, 7(5), 7-12.
- [13] Nanayakkara, A., Premasiri, R., Arulmoly, B., & Konthesingha, C. (2022). Metamorphic rocks for manufactured sand and coarse aggregate for concrete and mortar. *Magazine of Civil Engineering*, 113(5), 11308.
- [14] Trotta, R. P., Barroso, E. V., & da Motta, L. M. G. (2021). Migmatitic gneiss aggregates: Compositional, mechanical, and morphological responses to innate heterogeneity. *Engineering Geology*, 283, 106002.
- [15] Vishalakshi, K. P., Revathi, V., & Reddy, S. S. (2018). Effect of type of coarse aggregate on the strength properties and fracture energy of normal and high strength concrete. *Engineering Fracture Mechanics*, 194, 52-60.