

## Doświadczalne badania stosowania betonu z kruszywem wapiennym i dolomitowym w konstrukcjach budowlanych

### Experimental investigation on the application of concrete produced with limestone and dolomitic limestone aggregates in building constructions

Adem Solak<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Architecture, Faculty of Engineering and Architecture, Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Burdur, Turkey

\*Corresponding author: Solak, e-mail: [asolak@mehmetakif.edu.tr](mailto:asolak@mehmetakif.edu.tr)

#### Streszczenie

Beton, który jest często stosowany w procesie wykonywania budynków, produkuje się przez zmieszanie cementu, wody, kruszywa i dodatków, w odpowiednich ilościach. Duże znaczenie ma utrzymanie fizycznych, chemicznych, mineralnych, a szczególnie mechanicznych właściwości betonu na potrzebnym poziomie, szczególnie w odniesieniu do wytrzymałości i trwałości wybudowanych konstrukcji. W tym zakresie wybór kruszywa, które należy do ważnych składników mieszanki betonowej, jest jednym z czynników, mających wpływ na właściwości betonu. Zastosowanie wapienia i skał dolomitycznych w doborze kruszywa, które należą do skał osadowych, wzmacniają jego adhezję z cementem i wzmacniają właściwości mieszanki betonowej. W pracy oznaczono i sklasyfikowano skały w regionie Zachodniej Anatolii w Turcji i zbadano czy są one odpowiednie do stosowania jako kruszywo w betonie. W tych warunkach, gdy fizyczne, chemiczne i mineralne właściwości próbek skalnych pobranych z tych złóż zostały zbadane, stało się jasne, że te próbki należały do wapieni i wapieni zdolomityzowanych. W celu porównania właściwości mieszanek betonowych z kruszywem z wapieni i wapieni zdolomityzowanych, przygotowano 18 próbek betonu zawierających kruszywo wapienne i z wapienia zdolomityzowanego oraz z tymi dwoma kruszywami, równocześnie. Po 7 i 28 dniach okresu twardnienia oznaczono i porównano wytrzymałość na ściskanie tych próbek betonowych, w intencji ich zastosowania w betonie, w strukturach budowlanych.

**Słowa kluczowe:** beton, cement, kruszywa, wapień, wapień dolomityczny

#### Summary

Concrete, which is frequently used in the production process of buildings; It is made by mixing cement, water, aggregate and additives in appropriate amounts. It is important that the physical, chemical, mineralogical and especially mechanical properties of the concrete are at the desired level in terms of strength and durability of the built structures. In this direction, the selection of aggregates, which are an important part of the concrete mix, is one of the important factors affecting the concrete properties. The use of limestone and dolomitic rocks, which are rocks of sedimentary origin, in the selection of aggregates, strengthens the adhesion of aggregates with cement and improves the properties of the concrete mixture. In this study, it was aimed to identify and classify the rocks in the Western Anatolian region of Turkey and to investigate the suitability of their use as aggregates in concrete. In this context, when the physical, chemical and mineralogical properties of the rock samples taken from the field area were examined, it was understood that the rock samples were limestone and dolomitic limestone samples. In order to compare the performance of concrete mixtures prepared using limestone and dolomitic limestone aggregates, a total of 18 concrete samples were prepared, including limestone crushed aggregate, dolomitic limestone, and limestone and dolomitic limestone aggregates used together. At the end of the 7 and 28 days curing period, the concrete compressive strengths of the prepared samples with the intention of being used as concrete in building structures were tested and compared.

**Keywords:** aggregate, cement, concrete, limestone, dolomitic limestone

## 1. Wprowadzenie

Wiadomo, że występuje wzrost budownictwa w miastach, równoległe z ilością populacji, która wykazuje szybki kierunek wzrostu na świecie. Ze wzrostem szybkości budownictwa, następuje zwiększenie produkcji betonu, który jest jednym z materiałów budowlanych stosowanym w tym przyspieszonym budowaniu, szczególnie domów. Kruszywa, stanowią podstawowe składniki betonu (1,2). Zapewniają one uzyskanie mieszanek betonowych z wystarczającą wytrzymałością i urabialnością. Wiadomo, że stosowanie wapieni, które należą do skał pochodzenia osadowego, zapewniają lepsze wiązanie z zaprawą cementową. Wapienie, które występują w dużych ilościach na świecie, powstają w wyniku strącania składników występujących w morzach i jeziorach na drodze chemicznej lub organicznej (3). Wapienie, które znajdują zastosowanie w wielu sektorach budownictwa, są także obecnie chętnie stosowane jako kruszywo do betonu. Kruszywo i jego zastosowanie w produkcji betonu było przedmiotem wielu badań naukowych.

Beshr i in. (4) badali cztery rodzaje grubego kruszywa, a mianowicie wapienia, dolomitu, wapienia kwarcowego i metalurgiczny żużel i ich wpływ na właściwości betonu. Jako wynik ich doświadczeń, ustalili oni, że wytrzymałość na zginanie i ściskanie betonów produkowanych z zastosowaniem żużla była największa. Natomiast, stwierdzili także, że kruszywa z małą wytrzymałością wykazują tendencję do otrzymywania bardziej plastycznego betonu, niż kruszywo z dużą wytrzymałością.

W badaniach prowadzonych przez Yaşara i in. (5), przydatność stosowania kruszyw wapiennych, pochodzących z regionu Adana w Turcji, była badana. Wytrzymałość na ściskanie, stosowanie punktowego obciążenia, porowatość i twardość próbek kruszywa, zbadane w tej pracy, po 7, 14 i 28 dniach wytrzymałość na ściskanie próbek betonowych, zawierających kruszywo wapienne, oznaczono i wyciągnięto wnioski, dotyczące próbek betonu z tym kruszywem. Jako wynik tych badań stwierdzono, że wymiar ziaren kruszywa wapiennego, ma bezpośredni wpływ na wytrzymałość na ściskanie betonu.

Aquino i in. (6) badali efekt stosowania kruszyw wapiennych uzyskanych w USA i Japonii na fizyczne i mechaniczne właściwości betonu. Zbadano wpływ kruszyw wapiennych w celu ustalenia ich wpływu na fizyczne i mechaniczne właściwości próbek betonu przy różnych dodatkach tych kruszyw, z równoczesnym różnym stosunkiem woda/cement.

Jako wynik tych badań stwierdzono, że ze wzrostem drobno-ziarnistego kruszywa wapiennego w betonie, wytrzymałość na ściskanie i na zginanie oraz moduł elastyczności próbek wzrosły, natomiast skurcz suszenia zmniejszył się znacznie.

Badania Altınsoy i in. (7) wykazały, że skały wapienne, pochodzące z Çanakkale i Elmacık w Turcji są dobrym kruszywem do betonu. W ramach badań stwierdzili, że kruszywa uzyskane ze skał wapiennych nadają się do stosowania jako kruszywo w betonie.

W ramach badań próbek skalnych, otrzymanych z kamieniołomu

## 1. Introduction

It is known that there is an increase in the rate of construction in cities based on the amount of population that has a rapid increase trend in the world. With the increasing rate of construction, there is an increase in the need for the production of concrete material, which is one of the building materials used in the systems of the building and especially the building constructions. Aggregates, one of the basic components of concrete, constitute the majority of the concrete mix (1,2). Therefore, the properties of aggregates, which are one of the main components of the concrete material, are assuring of the concrete mixture with sufficient strength and workability. The use of limestones, which are rocks of sedimentary origin, as aggregates is known to provide better adherence with the cement paste. Limestones, which are found around in sufficient quantities in the world, are formed by precipitating substances found in seas and lakes areas due to the chemical or organic effects (3). Limestones, which are used in many sectors of construction, are also preferred today as concrete aggregate. Aggregates and their use in concrete production have been the subject of many scientific studies.

Beshr et al. (4) investigated the effects of four types of coarse aggregates, namely limestone, dolomitic, quartzitic limestone and steel slag, on concrete properties. As a result of their examination, they determined that the tensile and compressive strengths of the concretes produced using steel slag were the highest. However, they stated that aggregates with low strength values tend to produce a more ductile concrete than aggregates with high strength.

In the study conducted by Yaşar et al. (5), the suitability of the use of limestone aggregates obtained from the Adana region of Turkey in concrete was investigated. The compressive strength, using point load index, porosity and hardness values of the aggregate samples examined in the study, after the 7, 14 and 28 days the compressive strength values of the concrete samples produced using limestone aggregates were determined and the usability of the limestone aggregate in concrete was investigated. As a result of the study, it was determined that the size of the limestone aggregates used in the concrete has a direct effect on the concrete compressive strength values.

Aquino et al. (6) investigated the effect of the use of limestone aggregates found in the USA and Japan in concrete on the physical and mechanical properties of concrete. Within the scope of the study, experimental studies were carried out to determine the effects of limestone aggregates on the physical and mechanical properties of concrete samples by adding different proportions of limestone aggregate to concrete samples with different water/cement ratios. As a result of the study, it was concluded that with the increase of the fine limestone aggregate ratio in the concrete, the compressive and flexural strength as well as the modulus of elasticity values of the concrete samples increased, while the drying shrinkage value was decreased significantly.

w Zachodniej Anatolii w Turcji, określono przydatność tych próbek skał, jako kruszywa do betonu.

## 2. Materiały i metody

### 2.1. Materiały

Kruszywa z regionu Zachodniej Anatolii zostały zastosowane w badaniach. Ogólna perspektywa tego regionu, w którym pobierano próbki, pokazano na rys.1, a wygląd tych okruchów skalnych na rys. 2. Otrzymane próbki rozdrobniono za pomocą kruszarki szczękowej i wykorzystano w postaci kruszyw o uziarnieniu zgodnym z wymaganiami normowymi.



Rys. 1. Ogólny widok terenu, z którego pobrano próbki wapienia

Fig. 1. Field area overview

### 2.2. Metody

W ramach badań, przede wszystkim przeprowadzono niezbędne badania w istniejącym kamieniołomie i pobrano w nim próbki. W związku z tym, że występują dwie różnego rodzaju skały, nadano próbkom numery 1 i 2. Oznaczono podstawowe właściwości próbek do badań i podzielono je zgodnie z wymiarami na klasy: 0-4 mm, 4-11 mm i 11-22 mm, które dalej tak były badane.

Następnie kruszywa podzielono zgodnie z ich wymiarami i przeprowadzono doświadczalne badania, w celu oznaczenia właściwości próbki kruszywa numer 1. Następnie, jako typowe właściwości kruszyw z wapieni zdolomityzowanych, otrzymano próbkę numer 2, w badaniach przeprowadzonych przez Solaka (8), którą można było porównać z innymi kruszywami.

Wyniki tych doświadczeń, przeprowadzone na kruszowach o odpowiednich wymiarach z zastosowaniem norm w celu uzyskania potrzebnych danych, podano w tablicy 1.

W drugiej części badań, po przygotowaniu próbek betonu stosując wapień – kruszywo nr 1, wapień zdolomityzowany – kruszywo nr 2 oraz mieszane kruszywa wapienne

In the studies of Altinsoy at al. (7) the use of limestone rocks found in Çanakkale, Elmacık, Turkey region, was good aggregate in concrete. In their study, they stated that the aggregates obtained from limestone rocks are suitable for use in concrete.

Within the scope of the study, after examination of the rock samples obtained from the quarry in the Western Anatolian region of Turkey, the usability of the rock samples as aggregate in concrete was established.

## 2. Materials and method

### 2.1. Materials

Aggregates from the Western Anatolia Region were used in the study. The general view of the area where the sample samples were taken is given in Fig. 1, and the view of the aggregate samples to be examined is given in Fig. 2. The samples obtained were crushed in the jaw crusher and used in the form of aggregates, with grain sizes compatible with the standard demands.

### 2.2. Methods

Within the scope of the study, first of all, necessary examinations were made in the relevant quarry and rock samples were obtained. Since there are two different rock types, the samples examined were given numbers 1 and 2. The basic properties of the samples were determined and classification was made in the dimensions of 0-4 mm, 4-11 mm and 11-22 mm, which were used in experimental studies.

Consecutively, the aggregates were classified according to their sizes, and the experimental studies were carried out to determine the properties of the aggregate sample number 1. Then, the typical



Rys. 2. Próbkę skał do badań

Fig. 2. Examined rock samples

Badanie / Analysis	Odpowiednie normy Relevant standard	Wymiar kruszyw zastosowanych w doświadczeniach, mm Aggregate size, mm
Pobranie próbek / Sampling	TS 707	-
Analiza chemiczna / Chemical analysis	TS EN 15309	0.10
Wytrzymałość na ściskanie / Uniaxial compressive strength	TS EN 699	-
Kształt ziaren, oznaczenie wskaźnika płaskości Grain shape determination - Flatness Index	TS EN 933-3	4-11 and 11-22

z wapieniem zdolomityzowanym – kruszywa z numerami 1 i 2, oznaczono wytrzymałość na ściskanie po 7 i 28 dniach i porównano wytrzymałości tych próbek. Jak podano w normie TS EN 206-1, klasa wytrzymałości betonu w próbkach betonu otrzymanych w tych badaniach odpowiadała klasie C30/37, w związku z tym może zapobiegać wpływom korozji spowodowanych przez chlorki i szkodliwemu wpływowi chemicznego środowiska, zapewniając równocześnie wystarczającą urabialność i wytrzymałość (9).

### 3. Badania

#### 3.1. Oznaczenie mineralnego składu kruszyw

Zastosowano badania rentgenograficzne w celu oznaczenia składu fazowego próbek kruszywa, używanych w tych badaniach.

#### 3.2. Oznaczenie chemicznych właściwości kruszyw

W celu oznaczenia składu chemicznego próbek kruszywa zastosowanych w tych badaniach, stosowano fluorescencyjny spektrometr rentgenowski – XRF. Po sproszkowaniu próbek, pobrano 6,25 gramów i starannie zmieszano z 1,40 grama, wiążącej parafiny. Uzyskaną mieszaninę sprasowano w formie tabletek, o średnicy 40 mm, pod ciśnieniem 12–20 kN/m<sup>2</sup>, które były gotowe do dalszych badań.

#### 3.3. Jednoosiowa wytrzymałość na ściskanie kruszyw

Duża wytrzymałość kruszyw stosowanych bezpośrednio do produkcji betonu, ma bezpośredni wpływ na jego jakość. Zastosowanie kruszyw z małą wytrzymałością na ściskanie ma wpływ na jakość betonu, który także będzie miał niewielką wytrzymałość. McNally (5) stwierdził, że oznaczenie wytrzymałości na ściskanie skał jest ważne i oznacza czy te skały mogą być stosowane jako kruszywo w betonie. Wytrzymałość na ściskanie kruszyw, które mają być stosowane w mieszance betonowej, powinna wynosić w zakresie 100–200 MPa. Jeżeli kruszywa z wytrzymałością na ściskanie mniejszą od 100 MPa stosuje się w betonie, wytrzymałość na ściskanie kruszyw i ich trwałość, powinny być oznaczone równocześnie (10).

properties of dolomitic limestone aggregates, sample number 2 was obtained from the study conducted by Solak (8), and comparisons with other samples were made.

The results of these tests applied to aggregates classified in appropriate sizes and the standards related to the analyzes are shown in Table 1.

In the second part of the study, after the production of concrete samples using limestone - aggregate no. 1, dolomitic limestone aggregate no. 2 and limestone aggregates with dolomitic aggregates numbered 1 and 2, after the 7 and 28-day s the compressive strength of the samples were determined and the comparison over the compressive strengths of these samples was made. As stated in TS EN 206-1, the concrete class values of the concrete samples produced in the study were aimed to be C30/37 class. Since the corrosion factor caused by chloride and the harmful chemical environment effect can be prevented and it has sufficient workability and strength value (9).

### 3. Experimental studies

#### 3.1. Determination of mineralogical properties of aggregates

X-Ray Diffraction [XRD] method was used to determine the mineralogical compositions of the aggregate samples used in the study.

#### 3.2. Determination of chemical properties of aggregates

In order to determine the chemical composition of the aggregate samples used in the study, the X-Ray Fluorescence Spectrometer [XRF] method was used. After the samples examined in the study were powdered, 6.25 grams were taken from the powder samples and mixed homogeneously with 1.40 grams of the binding wax. The obtained mixture was compressed into the 40 mm diameter tablet under 12-20 kN/m<sup>2</sup> pressure and made ready for measurement.

#### 3.3. Uniaxial compressive strength of aggregates

The high compressive strength of the aggregates used in the preparation of the concrete directly affects of its quality. The use of aggregates with low compressive strength in concrete causes

Tablica 2 / Table 2

SKŁAD CHEMICZNY CEMENTU STOSOWANEGO W BADANIACH, %  
 CHEMICAL PROPERTIES OF THE CEMENT USED IN THE STUDY, %

Składniki	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Straty prażenia Loss on ignition
CEM I 42,5 N	20.31	4.55	3.43	62.66	1.53	2.77	0.90	0.93	2.85

### 3.4. Wskaźnik płaskości ziarn

Zgodnie z normą TS EN 933-3 (11), wskaźnik płaskości kruszyw oznacza się stosując równanie 1.

$$F_i = m_i / R_i \cdot 100 \quad (1)$$

gdzie:

$F_i$  – wskaźnik płaskości,

$m_i$  – ilość materiału przechodzącego przez sito prętowe [bar sieve],

$R_i$  – odnosi się do całej ilości materiału.

### 3.5. Właściwości cementu zastosowanego w mieszance betonowej

Cement CEMI 42,5N zastosowano do wykonania próbek betonu, w prowadzonych badaniach.

Skład chemiczny stosowanego cementu podano w tablicy 2.

### 3.6. Oznaczenie wytrzymałości na ściskanie próbek betonu

#### 3.6.1. Oznaczenie składu ziarnowego kruszywa

Skład ziarnowy kruszyw stosowanych w betonie, ma bezpośredni wpływ na jego mechaniczne właściwości. Rozkład ziarnowy kruszyw powinien zapewnić otrzymanie dobrej jakości betonu. W tym celu powinno się stosować oznaczenie składu ziarnowego kruszyw za pomocą analiz sitowych, przed ich zastosowaniem w przygotowaniu betonu. Skład ziarnowy lub skład najmniejszych otworów w sitach, przez które ziarna kruszywa mogą przejść, określa się jako średnicę tych ziaren. Ta klasyfikacja i nazewnictwo oparte na wymiarach podano w tablicy 3.

Jest możliwe przedstawienie rozkładu ziarnowy kruszywa jako krzywe granulometryczne. Te krzywe otrzymano zgodnie ze zbior-

Tablica 3 / Table 3

KLASYFIKACJA MATERIAŁU KRUSZYW W OPARCIU O WYMIARY ZIAREN  
 CLASSIFICATION OF MATERIALS ACCORDING TO GRAIN SIZES

Największe i najmniejsze wymiary ziaren Sieve top and bottom dimensions	Materiał / Material
63 mm - 31.5 mm	Podsypka / Ballast
31.5 mm - 4 mm	Kruszywo grube / Coarse aggregate
4 mm - 63µm	Kruszywo drobne / Fine Aggregate
63 µm - 2 µm	Ił / Silt
2 µm and below	Gлина / Clay

the concrete compressive strength to be low. McNally (5) emphasized that the determination of uniaxial compressive strength of rocks is important in determining whether the rocks can be used as aggregate in concrete. The uniaxial compressive strength values of the aggregates to be used in the concrete mixture should generally be between 100-200 MPa. If aggregates with the compressive strength below 100 MPa are used in the concrete, the uniaxial compressive strength value of the aggregate and the wear resistance should be evaluated together (10).

### 3.4. Flatness index values of aggregates

According to the TS EN 933-3 standard (11), the flatness index coefficient of aggregates is determined using Equation 1.

$$F_i = m_i / R_i \cdot 100 \quad (1)$$

where:

$F_i$  – flatness index value,

$m_i$  – the amount of material passing through the bar sieve,

$R_i$  – It represents the total amount of material.

### 3.5. Properties of cement used in concrete mix

CEM I 42.5 N class cement was used in the concrete samples prepared within the scope of the study. Chemical composition of the cement used is given in Table 2.

### 3.6. Determination of compressive strength of concrete samples

#### 3.6.1. Grain size distribution

The granulometry composition of the aggregates to be used in the concrete has a direct effect on the mechanical properties of the concrete. The dimensional distribution of the aggregates of the desired performance should provide sufficient qualities for the produced concrete. In this direction, the sieve analysis test should be applied in order to determine the granulometric composition of the aggregates before they are used in concrete. The hole diameter or edge length of the smallest sieve through which the aggregate grain can pass is classified as the diameter of that grain. This classification and nomenclature based on grain sizes are given in Table 3.

It is possible to show the size distributions of aggregate particles with granulometry curves. These

czym stosunkiem masowym kruszyw przechodzących przez sito i odpowiednie sita otwory. W celu oznaczenia rozkładu wymiarów cząstek skruszonego kamienia wapiennego i ze zdomolizowanych kruszyw wapiennych zbadanych w ramach tych doświadczeń, przeprowadzono ich analizy sitowe zgodnie z normą TS 3530 EN 933-1 (13). Norma TS 802 (14) podaje, że największe wymiary ziaren kruszyw [ $D_{max}$ ] w przypadku betonu C30/37 wynoszą 22,4 mm, oznaczone za pomocą analizy sitowej.

### 3.6.2. Otrzymanie próbek betonu

W tej pracy, po oznaczeniu rozkładu wymiarów cząstek i uziarnienia kruszyw wapiennych i z dolomitycznego wapienia, zbadano wytrzymałość na ściskanie wszystkich 18 próbek betonu po 7 i 28 dniach dojrzewania, zachowując odpowiednie, korzystne warunki. Zgodnie z normą TS EN 206-1, stosunek wody do cementu ustalono jako 0,45 i badano wytrzymałość betonu klasy C30/37 po 28 dniach. Mieszanek o ilości materiału odpowiedniej do 1m<sup>3</sup> betonu klasy C30/37 według normy TS 802 (14), podano w tablicy 4.

### 3.6.3. Oznaczenie jednoosiowej wytrzymałości betonu na ściskanie

Całkowita ilość 18 próbek do badań, które zostały przygotowane stosując skruszone kruszywo wapienne, z dolomitycznego wapienia oraz ze zmieszanego wapienia ze zdomolizowanym wapieniem, przechowywano w wodzie w temperaturze 20 ± 2°C, aż do objęcia doświadczeniem jednego kationu, zgodnie z normą TS EN 12390-2 (15), po wyjęciu z formy. Wytrzymałość na ściskanie stwardniałych próbek betonowych oznaczono stosując metodę zgodną z normą TS EN 12390-3 (16).

## 4. Wyniki

### 4.1. Składy fazowe kruszyw

Zgodnie z wynikami uzyskanymi na podstawie analiz rentgenograficznych próbek zanotowano, że zmierzone refleksy kalcytu na obrazie XRD próbki skały nr 1 odpowiadające prawie 100% minerału kalcytu w próbce. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że próbka nr 1 to wapień, a próbka nr 2 to próbka wapienia dolomitowego.

### 4.2. Chemiczny skład kruszyw

Wyniki analiz chemicznych, przeprowadzono zgodnie z normą TS EN 15309 (17). Stwierdzono że próbka pierwszej skały – próbka numer 1, zawierała 55,50% CaO, 0,37% MgO i 0,58% SiO<sub>2</sub>. Ponadto oznaczono, że utrata masy próbki wyniosła 47,2%. Oznaczono także, że druga próbka skały – próbka numer 2, zawiera 36,63% CaO, 13,37% MgO i 0,16% SiO<sub>2</sub>. Według Folka (23) z badań wynika, że próbka numer 1 jest wapieniem, podczas gdy próbka numer 2 jest wapieniem dolomitycznym. Wyniki analiz chemicznych próbek 1 i 2 oraz klasyfikacja skał węglanowych są pokazane w tablicach 5 i 6.

curves are obtained according to the cumulative mass ratios of the aggregates passing over the sieve and the corresponding sieve opening. In order to determine the particle size distribution of the limestone crushed stone and dolomitic limestone aggregates examined within the scope of the study, a sieve analysis test was carried out in accordance with the TS 3530 EN 933-1 standard (13). In the TS 802 standard (14), it is stated that the largest particle size ( $D_{max}$ ) of aggregates for C30/37 concrete is 22.4 mm in the sieve analysis.

### 3.6.2. Preparation of the concrete samples

In this study, after examining the particle size distribution and granulometry values of limestone and dolomitic limestone aggregates, the compressive strength test was applied to the total of 18 concrete samples after the end of 7 and 28 days curing periods, providing appropriate optimization conditions. According to the TS EN 206-1 standard, the water/cement ratio was determined as 0.45 and for the 28-day strength of C30/37 class concrete. Material mixture amounts for 1m<sup>3</sup> of concrete with C30/37 class according to TS 802 standard (14) are shown in Table 4.

### 3.6.3. Determination of compressive strength of concrete

A total of 18 cylindrical test samples, which were obtained by using limestone crushed aggregate, dolomitic limestone and limestone and dolomitic limestone mixed, were cured in water at (20 ± 2) °C until the test application, according to TS EN 12390-2 standard (15), after being removed from the mold. Compressive strength of concrete samples was determined by using the test method to be applied for determination of compressive strength in hardened concrete samples according to TS EN 12390-3 (16).

## 4. Results

### 4.1. Mineralogical properties of aggregates

According to the results obtained from the XRD analysis of the sample, it was found that there were calcite peaks in the XRD pattern of the rock sample number 1 corresponding to almost 100% of calcite mineral in the sample. According to obtained results, it was found, that sample number 1 is limestone and number 2 is a

Tablice 4 / Table 4

SKŁAD MIESZANKI BETONOWEJ

MIX PROPORTIONS

Składnik / Material	Zawartość / Content, kg/m <sup>3</sup>
Cement	450
Woda / Water	200
Kruszywo 0-4 mm / 0-4 mm aggregate	840
Kruszywo 4-11 mm / 4-11 mm aggregate	450
Kruszywo 11-22 mm / 11-22 mm aggregate	390
Udział kruszyw w mieszaninie / Aggregate Mixing Ratios, %	
Kruszywo drobne / Fine aggregate	35.6
Kruszywo grube / Coarse aggregate	64.4

### 4.3. Wytrzymałość na ściskanie kruszyw

Trzy skruszone próbki wapienia i 3 próbki dolomitycznego wapienia badane w tej pracy, zostały poddane oznaczeniu wytrzymałości na ściskanie, zgodnie z normą TS EN 699 (18). Na podstawie wyników badania tej wytrzymałości stwierdzono, że średnia z trzech próbek skruszonego wapienia wynosi 79 MPa, a średnia wytrzymałość na ściskanie 3 dolomitycznych wapieni wyniosła 84 MPa.

### 4.4. Wskaźnik płaskości kruszyw

Oznaczenie właściwości kruszyw stosowanych w betonie jest czynnikiem wpływającym na urabialność przygotowanych mieszanek betonowych. W celu oznaczenia kształtu kruszyw, należało oznaczyć wskaźnik płaskości i na tej podstawie przeprowadzić klasyfikację.

W celu oznaczenia wskaźnika płaskości próbek badanych w ramach tej pracy, zastosowano ten wskaźnik do próbek o wymiarach przypadających pomiędzy 4-11 mm i 11-22 mm. Na tej podstawie stwierdzono, że współczynnik wskaźnika płaskości w przypadku próbek skruszonych skał wapiennych o wymiarach 4-11 mm wynosił 5, a ten współczynnik dla próbek dolomitycznego wapienia

Tablica 5 / Table 5

WYNIKI ANALIZ CHEMICZNYCH PRÓBEK 1 I 2

XRF ANALYSIS RESULTS OF SAMPLES 1 AND 2

Składnik / Component	Zawartość / Content, %	
	1	2
SiO <sub>2</sub>	0.579	0.161
TiO <sub>2</sub>	0.023	0.001
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.264	0.016
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.081	0.919
MgO	0.374	13.370
CaO	55.500	36.630
Na <sub>2</sub> O	0.172	0.228
K <sub>2</sub> O	< 0.0012	< 0.0012
MnO	0.004	0.014
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.009	0.223
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.058	0.085
SO <sub>3</sub>	0.175	0.161
Strata prażenia Loss on ignition	47.2	48.2

Tablica 6 / Table 6

KLASYFIKACJA SKAŁ WĘGLANOWYCH WEDŁUG FOLKA, 1959

CLASSIFICATION OF CARBONATE ROCKS ACCORDING TO FOLK, 1959

Zawartość kalcytu / Calcite content, %	Zawartość dolomite / Dolomite content, %	Definicja / Definition
> 95%	< 5%	Wapień / Limestone
% 90-95	% 5-10	Wapień bogaty w magnez / Limestone with magnesium
% 50-90	% 10-50	Wapień dolomityczny / Dolomitic Limestone
% 10-50	% 50-90	Dolomit wapienny / Calcareous Dolomite
< 10%	> 90%	Dolomit / Dolomite

dolomitic limestone sample.

### 4.2. Chemical composition of aggregates

As a result of the XRF analysis carried out according to the TS EN 15309 standard (17), it was found that the first rock sample examined - sample number 1, contained 55.50% CaO, 0.37% MgO, 0.58% SiO<sub>2</sub>. In addition, it was determined that the loss on ignition value of the sample was 47.2%. It has been determined that the second rock sample - sample number 2, contains 36.63% CaO, 13.37% MgO and 0.16% SiO<sub>2</sub>. According to Folk, it is seen that the sample number 1 is limestone, while sample number 2 is in the dolomitic limestone class. The XRF analysis results of samples 1 and 2 and the classification of carbonate rocks are shown in Table 5 and Table 6.

### 4.3. Compressive strength of the rock

3 limestone crushed stone samples and 3 dolomitic limestone samples examined within the scope of the study were subjected to uniaxial compressive strength test in accordance with TS EN 699 standard (18). According to the results of the compressive strength test, it was found that the average compressive strength of limestone samples was 79 MPa, and the average compressive strength value of dolomitic limestone was 84 MPa.

### 4.4. Flatness index

Determining the shape properties of the aggregates to be used in concrete is a factor affecting the workability properties of the prepared concrete mix. In order to determine the shape properties of the aggregates, the flatness index values of the aggregates should be determined, and the necessary classification should be made.

To determine the flatness index values of the samples examined within the scope of the study, the flatness index test was applied to the samples with dimensions between 4-11 mm and 11-22 mm. As a result of this experiment, it was seen that the flatness index coefficient values of the limestone crushed stone samples with the dimensions of 4-11 mm were 5, and the flatness index coefficient values of the dolomitic limestone samples were 7. However, it was found to be 6 for limestone crushed stone samples with 11-22 mm dimensions and 8 for dolomitic limestone samples. It is seen that these determined values are in the FI 15 category. According to these values, it is thought that it would be appropriate to use limestone and dolomitic limestone as aggregate in concrete.

Tablica 7 / Table 7

ROZKŁAD WIELKOŚCI ZIAREN KRUSZYWA Z WAPIENIA I ZDOLOMITYZOWANEGO WAPIENIA

GRAIN SIZE DISTRIBUTIONS OF LIMESTONE AND DOLOMITIC LIMESTONE AGGREGATES

Wielkość oczka sita Sieve diameter, mm	Przepad / Amount of material passed, %	
	Wapień / Limestone	Wapień dolomityczny Dolomitic limestone
22.4	100.00	100.00
16.0	79.40	83.00
11.2	68.30	75.00
8	57.50	63.20
4	48.20	49.30
2.0	38.40	37.20
1.0	25.20	24.80
0.5	16.70	17.20
0.25	10.70	11.10
0.125	6.90	7.50
0.063	4.40	5.00

wynosił 7. Natomiast, stwierdzono, że zastosowano 6 próbek skruszonych skał wapiennych o wymiarach 11-22 mm i 8 dla próbek wapieni dolomitycznych. Stwierdzono, że te oznaczone wartości należą do kategorii FI 15. Na podstawie tych wartości można stwierdzić, że będzie odpowiednie zastosowanie wapienia i wapienia dolomitycznego, jako kruszywo w betonie.

#### 4.5. Wytrzymałość na ściskanie wszystkich otrzymanych próbek betonu

##### 4.5.1. Rozkład wymiarów ziaren kruszywa

Rozkład wymiarów ziaren kruszyw z wapienia i wapienia dolomitycznego z  $D_{max}$  22,4 mm pokazano w tablicy 7.

Analizę sitową próbki kruszywa przeprowadzono na zestawie sit o kwadratowych otworach. Oceniając w tym badaniu krzywe ziarnowe kruszywa z wapienia i z wapienia dolomitycznego można zauważyć, że krzywe uziarnienia dla obu próbek kruszywa leżą pomiędzy wartościami minimalnymi i maksymalnymi, podanymi w normie TS 802 (14) [rys. 3].

##### 4.5.2. Wytrzymałość na ściskanie próbek betonowych

Wytrzymałość próbek betonu na ściskanie po 7 i 28 dniach pokazano na rys. 4 i 5.

#### 4.5. Compressive strength of all produced concrete samples

##### 4.5.1. Aggregate particle size distributions

The grain size distributions of limestone and dolomitic limestone aggregates with  $D_{max} = 22.4$  mm are shown in Table 7.

Sieve analysis of an aggregate sample was performed on a selected square-hole sieve array. Considering the granulometry curve of the limestone and dolomitic limestone aggregates examined in the study, it can be seen that the gradation curve for both aggregate samples is between the minimum and maximum values specified in the TS 802 standard (14) [Fig. 3].

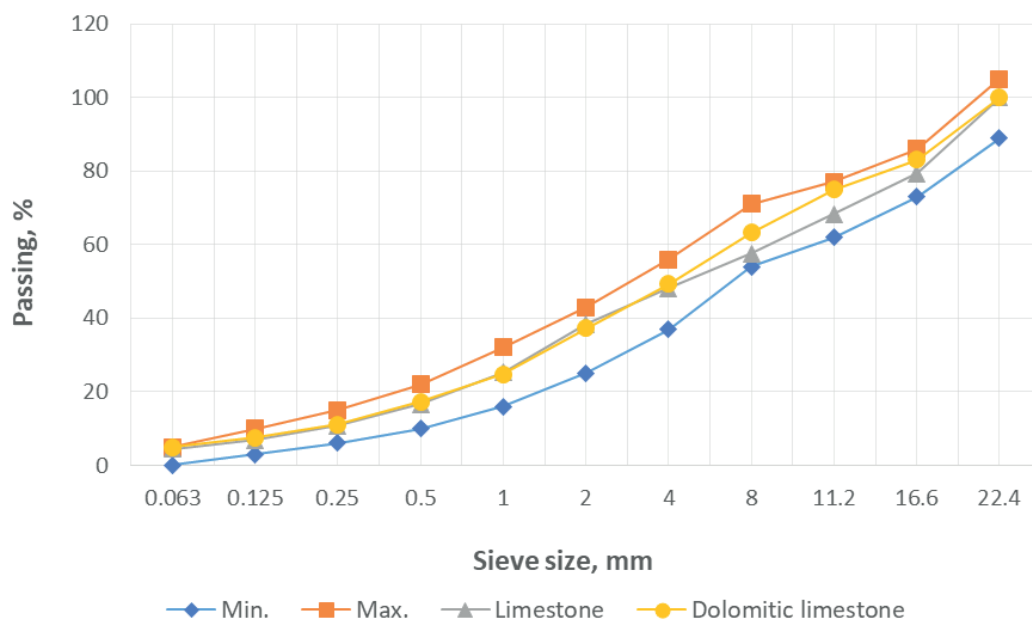
##### 4.5.2. Compressive strength of concrete samples

The 7 and 28 days of compressive strength values of the concrete samples are shown in Figs. 4 and 5.

It was determined that all of the 28-days concrete compressive strengths were above the C30/37 class.

When 7-day compressive strength values are examined, limestone aggregate has compressive strengths ranging from 26.50 to 26.70 MPa while those values for dolomitic limestone were similar to limestone aggregate with 26.54, 25.0 and 26.07. Mixture of dolomitic limestone and limestone crushed aggregate shows similar compressive strength with values, 25.40, 24.60 and 25.80 MPa.

When the 28-day compressive strength values of the samples are examined, the 28-day compressive strength values of the samples produced with limestone aggregate were 40.90, 38.20 and 41.60 MPa, and the compressive strength values of the samples produced using only dolomitic limestone span 33.0-38.3. It was found that the compressive strength of the samples produced using dolomitic



Rys. 3. Krzywe ziarnowe kruszyw ze skruszonej skały wapiennej i dolomitycznego wapienia

Fig. 3. Grain size distribution curves of crushed limestone and dolomitic limestone aggregates



Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie betonu C30/37, wykazały, że wszystkie próbki miały po 28 dniach tę wytrzymałość większą od klasy C30.

Badania wytrzymałości na ściskanie po 7 dniach wykazały, że próbki z kruszywem wapiennym, mają tę wytrzymałość od 26,50 do 26,70 MPa, natomiast z dolomitycznym wapieniem wykazała 26,54; 25,0 i 26,07. Mieszanka skruszonych kruszyw z wapieni dolomitycznych z wapieniem wykazała podobną wytrzymałość na ściskanie, a, mianowicie 25,40, 24,60 i 25,80 MPa.

Natomiast badania wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach, w przypadku próbek z kruszywa wapiennego osiągnęły wyniki: 40,90; 38,20 i 41,60 MPa, natomiast próbki tylko z dolomitycznym wapieniem, w zakresie od 33,0 do 38,3 MPa. Stwierdzono, że wytrzymałość na ściskanie próbek ze zmieszonym kruszywem wapiennym i wapieniem dolomitycznym miała 44,68; 41,87 i 44,15 MPa.

Jako wyniki doświadczeń można stwierdzić, że próbki betonu osiągnęły pożądaną wytrzymałość.

## 5. Wnioski

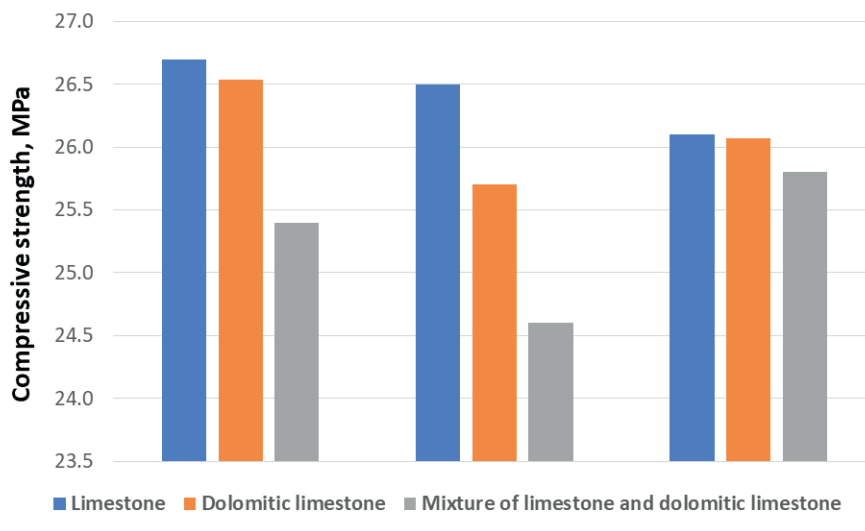
Wyniki uzyskane w tych doświadczeniach, które zostały przeprowadzone w celu stwierdzenia przydatności skał z Zachodniej Anatolii w Turcji jako kruszywo w betonie, które zdefiniowano i sklasyfikowano następująco.

Po zbadaniu próbek kruszywa wapiennego i kruszywa dolomitowego w zakresie odpowiednich norm stwierdzono, że nadają się one do stosowania jako kruszywo do produkcji betonu.

Stwierdzono, że wytrzymałość na ściskanie próbek betonowych uzyskanych z kruszywa wapiennego i kruszywa z wapienia dolomitycznego zapewniają uzyskanie betonu klasy C30/37 do stosowania w budynkach żelbetowych będących przedmiotem badań.

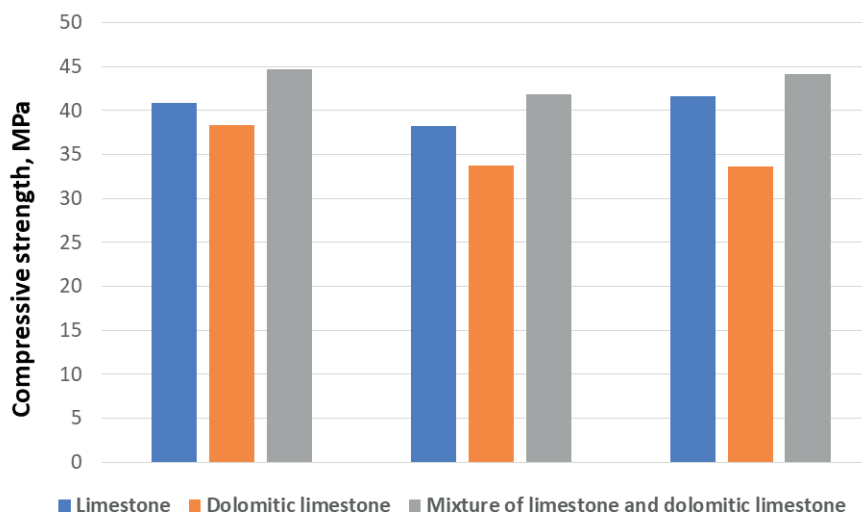
Stwierdzono, że wytrzymałość na ściskanie betonów otrzymanych z mieszanki wapienia i wapienia dolomitycznego była większa od pozostałych betonów.

Zgodnie z tymi wynikami można stwierdzić, że kruszywa otrzymane z tłuczni wapiennego i skał z wapieni dolomitycznych z regionu zachodniej Anatolii w Turcji nadawałyby się do wykorzystania jako kruszywo do betonu w konstrukcjach budowlanych.



Rys. 4. Wytrzymałość na ściskanie próbek po 7 dniach

Fig. 4. 7-day compressive strength values of the samples



Rys. 5. Wytrzymałość na ściskanie próbek po 28 dniach

Fig. 5. 28-day compressive strength values of the samples

limestone and limestone crushed aggregate together were 44.68, 41.87 and 44.15 MPa, respectively.

## 5. Conclusion

The results obtained in this study, which was carried out with the aim of investigating the suitability of using the rocks in the Western Anatolian region of Turkey as aggregate in concrete by defining and classifying them, are as follows.

When the limestone crushed stone and dolomitic limestone aggregate samples were tested within the scope of the relevant standards, it was found that they were suitable for use as aggregates in concrete production.

It has been observed that the compressive strengths of the concrete samples produced using limestone crushed aggregates and

## LITERATURA / References

1. F. Altinsoy, N.S. Karahan, R. Çankaya, A. Karabayır, Investigation of the suitability of limestone stones from Çanakkale Elmacık region as concrete aggregate. *Çanakkale Onsekiz Mart Univ. J. Sci. Inst.* **3.1**, 48-58, (2017). <https://doi.org/10.28979/comufbed.304088>
2. Z. Arsoy, H. Çiftçi, B. Ersoy, T. Uygunoğlu, B. Arslan, Investigation of the evaluation of the marble wastes of Afyonkarahisar region as concrete aggregate. *Al-Jazari J. Sci. Eng.* **6(3)**, 503-516 (2019). <https://doi.org/10.31202/ecjse.554339>
3. R.S. Boynton, Chemistry and technology of lime and limestone edition. John Wiley and Sons Inc., 83- 97 (1980).
4. H. Beshr, A.A. Almusallam, M. Maslehuddin, Effect of coarse aggregate quality on the mechanical properties of high strength concrete. *Constr. Build. Mater.* **17(2)**, 97-103 (2003). [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(02\)00097-1](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(02)00097-1)
5. Yaşar, E., Erdoğan, Y., & Kılıç, A.. Effect of limestone aggregate type and water–cement ratio on concrete strength. *Mater. Lett.* **58(5)**, 772-777 (2004). <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2003.06.004>
6. Aquino, C., Inoue, M., Miura, H., Mizuta, M., & Okamoto, T. The effects of limestone aggregate on concrete properties. *Constr. Build. Mater.* **24(12)**, 2363-2368 (2010). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.05.008>
7. F. Altinsoy, N.S. Karahan, R. Çankaya and A. Karabayır, Investigation of the suitability of limestone stones from Çanakkale Elmacık region as concrete aggregate. *Çanakkale Onsekiz Mart University J. Sci. Inst.* **3.1**, 48-58, (2017). <https://doi.org/10.28979/comufbed.304088>
8. Solak, A, Classification of rocks in Manisa-Gürle village region and investigation of their usability as concrete aggregate. *Niğde Ömer Halisdemir Univ. J. Eng. Sci.* **11(4)**, 974-981 (2022).
9. TS EN 206-1, Concrete- Part 1: Specification, performance, production and conformity. Turkish Standard Institute, Ankara 2014.
10. G. H. McNally, Soil and rock construction materials, E and FN Spon, First published, p. 403, London And New York 1998.
11. TS EN 933-3, Tests for geometrical properties of aggregates - Part 3: Determination of particle shape - Flakiness index. Turkish Standard Institute, Ankara, 2012.
12. TS EN 1097-2, Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 2: Methods for the determination of resistance to fragmentation. Turkish Standard Institute, Ankara, 2000.
13. TS 3530 EN 933-1/A1, 2007. Experiments for Geometric Properties of Aggregates Part 1: Grain Size Distribution Determination-Sieving Method, Turkish Standards Institute, Ankara 2007
14. TS 802, Design of concrete mixes. Turkish Standard Institute, Ankara, 2009.
15. TS EN 12390-2, Testing hardened concrete - Part 2: Making and curing specimens for strength tests. Turkish Standard Institute, Ankara, 2002.
16. TS EN 12390-3, Testing hardened concrete - Part 3: Compressive strength of test specimens. Turkish Standard Institute, Ankara, 2001.
17. TS EN 15309, Determination of Elemental Composition by X-Ray Fluorescence Method. Turkish Standard Institute, Ankara, 2008.
18. TS EN 699, Methods of Testing for Natural Building Stones. Turkish Standard Institute, Ankara, 2009.
19. TS 706 EN 12620+A1, Concrete aggregates. Turkish Standards Institute, Ankara, 2009

dolomitic limestone aggregates provide the concrete C30/37 class level to be used in the reinforced concrete buildings targeted in the study.

It was determined that the compressive strength of the concretes produced by using the mixture of limestone and dolomitic limestone aggregates were higher than the other samples.

In line with these results, it is possible to state that the aggregates obtained from limestone crushed stone and dolomitic limestone rock from Western Anatolian region of Turkey would be appropriate to use as concrete aggregate in building structures.