

## تعیین ابعاد بهینه بلوک در استخراج معادن سنگ تزئینی به روش سیم برش الماسه

نوشته: دکتر کامران گشتاسبی\* و داود خدادادی\*

### Determination of Optimum Block Size in the Mining of Ornamental Stones by Diamond Wire

By: Dr. K.Goshtasbi\* & D. Khodadadi\*

#### چکیده

در بحث استخراج سنگهای تزئینی به روش سیم برش الماسه، یکی از مهمترین مسائل برای استخراج اصولی و بهینه از نظر فنی و اقتصادی، تعیین مناسب ابعاد بلوک استخراجی است، به گونه‌ای که روند عملیات استخراج از نظر فنی با مشکل مواجه نشود و ایمنی کار نیز مورد توجه قرار گیرد و همچنین از لحاظ اقتصادی هزینه کمتری تحمیل شود. این مقاله، نتایج حاصل از تحقیق در معدن سنگ تزئینی لایبید را ارائه می‌دهد که هدف آن به دست آوردن ابعاد بهینه بلوک با توجه به شرایط خاص این معدن اعم از شرایط زمین شناسی، ژئوتکنیکی و توانایی دستگاههای موجود مورد استفاده در معدن است. این روش یک روند کلی دارد که با توجه به شرایط خاص، برای هر معدن سنگ تزئینی که از نظر روش استخراج در محدوده این بحث باشد، کاربرد دارد. برای تعیین ابعاد بهینه بلوک، هزینه‌هایی که تغییرات ابعاد بلوک بر روی آنها تأثیر می‌گذارد، اعم از هزینه‌های حفاری، برش و قواره سازی و دیگر هزینه‌های مرتبط با آنها، مورد بررسی قرار گرفته است. سپس نمودار مجموع هزینه‌ها برای واحد حجم سنگ در ابعاد مختلف به دست آمده است. در معدن یاد شده، ابعاد  $6 \times 4.5 \times 8$  متر به ترتیب به عنوان طول، عرض و ارتفاع بلوک بهینه در نظر گرفته شده است. افزایش ابعاد و کامل شدن نسبت ابعاد بلوک قواره به بلوک اصلی از جمله نکات مهم در کاهش هزینه است و این روند تا جایی قابل قبول است که منجر به ایجاد مشکلات فنی نشود و همچنین کاهش چشمگیر هزینه‌های استخراج را در پی داشته باشد.

**کلید واژه‌ها:** سنگ تزئینی (ساختمانی)، ابعاد بهینه، سیم برش الماسه، معدن لایبید

#### Abstract

Generally, determination of suitable block size, is one of the most essential factor for optimum and economic excavation. In mining ornamental stones by diamond wire it must be such that it does not cause any problems with regard to excavation sequences, be safe and also reduce the costs. This paper presents the results of an investigation which was carried out in Laybid ornamental stone mine. The aim of this research, was to determine the optimum block size with regard to geological and geotechnical conditions and machinery used in this mine. The method has a general trend which can then be applied to any mine with similar excavation method by considering the special conditions of that mine. The optimum block size is determined by calculating operation costs such as excavation, cutting, etc. These calculations were carried out for various block sizes and various graphs plotted. In this mine the optimum block size was determined to be  $6 \times 4.5 \times 8$  meters for length, width and height of the block respectively. The increase in block dimensions and suitable block dimensions with regard to the main block is an important factor for cost reduction. This procedure will be acceptable up to a point where excavation costs decrease greatly and also no technical problems occur.

**Key words :** Ornamental (Building) stones, optimum block size, diamond wire, Laybid

#### 1- مقدمه

یکی از مهمترین ذخایر معدنی ایران، معادن سنگهای تزئینی است که مصارف گوناگونی در زندگی انسان دارند. مهمترین





جنس سنگ ، نوع سیم الماسه ، ضریب اصطکاک بین سنگ و سیم، و تنش کششی مجاز سیم الماسه تعیین می‌شود. پس از بریده شدن سطوح ، باید بلوک را با هدف قواره سازی و ایجاد فضای کار برای استخراج بلوک بعدی، واژگون کرد . در هنگام واژگون سازی بلوک، باید برآیند بردار نیروی وزن بلوک از سطح قاعده استقرار بلوک خارج شود و در بلوکهای خیلی پهن چنین کاری دشوار است. بنابراین، افزایش پهنای بلوک تا حدی امکان پذیر است که در مرحله واژگون سازی، عملیات استخراج با مشکل مواجه نشود در ضمن باید قدرت جکهای هیدرولیک و فاصله بازشوندگی آنها را نیز در نظر گرفت.

### 3- محاسبه هزینه‌های استخراج بلوک

#### 3-1- هزینه حفاری بلوک استخراجی

برای محاسبه هزینه های حفاری باید به هزینه‌های استهلاک دستگاه ، تعمیر و نگهداری ، سرمته ، دستمزد کارکنان و هوای فشرده ، توجه کرد. برای محاسبه هزینه هوای فشرده ، باید هزینه‌های استهلاک، تعمیر و نگهداری، سوخت، روغن و دستمزد نیز در نظر گرفته شود و در نهایت، مجموع هزینه‌های بالا برای یک متر حفاری تعیین می‌شود ( مد نی، 1375 ) . همچنین پس از جداسازی بلوک بزرگ (اصلی) و واژگون کردن آن برای آماده سازی و قواره سازی ، بلوک واژگون شده به طولهای n متري برش داده می‌شود. شکل 2 شیوه حفاری، مقدار سطح برش و قواره سازی در بلوک استخراجی را نشان می‌دهد. برای عبور سیم، چالهای افقی در سطحی که بر روی کف پله قرار گرفته حفاری خواهد شد. با توجه به مطالب گفته شده، مقدار حفاری هر بلوک و هزینه مربوط به آن، با توجه به هزینه هر متر حفاری محاسبه می‌شود. هزینه حفاری مورد نیاز به ازای واحد حجم ماده معدنی از رابطه 1 به دست خواهد آمد ( خدادادی، 1381 ) .

$$D = \frac{\left[ x + y + \left( \frac{x}{n} \right) \times h \right] \cdot E}{x \cdot y \cdot h} \quad (1)$$

x = طول بلوک (m)

y = عرض بلوک (m)

h = ارتفاع بلوک (m)

D = هزینه حفاری واحد حجم سنگ (ریال بر متر مکعب)

E = هزینه هر متر حفاری (ریال بر متر)

n = طول بلوک مبنا ( طول تقسیمات اولیه) (متر) (شکل 2)

#### 3-2- هزینه برش بلوک استخراجی

برای محاسبه هزینه برش، باید هزینه‌های استهلاک، تعمیرات

گسترش جغرافیایی سنگهای تزئینی ایران، در طول نوار سراسری از شمال باختر تا مرز پاکستان و نوار سنندج- سیرجان است ( مجموعه مقالات، 1370). در استخراج معادن سنگ تزئینی ، هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم زیادی دخالت دارند . اما برخی از این هزینه‌ها، بسته به ابعاد بلوکهای استخراجی، متغیر هستند که از آن جمله می‌توان به هزینه‌های حفاری ، برش ، قواره سازی و دیگر هزینه‌های مرتبط با آنها اشاره کرد. بنابراین، با تعیین ابعاد مناسب برای بلوکهای استخراجی می‌توان هزینه های مذکور را تا حد قابل قبول کاهش داد که رعایت مسائل فنی و ایمنی استخراج نیز از عوامل مهم و مؤثر در آن خواهد بود . به طور کلی، از عوامل تأثیر گذار بر ابعاد، می‌توان به عوامل زمین شناسی و ژئوتکنیکی ، عوامل فنی مانند توان دستگاههای استخراج از جمله توانمندی دستگاههای حفاری ، دستگاههای برش ، جکهای هیدرولیک برای جا به جایی و عوامل دیگر همچون ابعاد مورد نیاز بازار و کارخانه‌ها اشاره کرد. به طور معمول، استخراج و جدا سازی یک بلوک سنگ تزئینی ، نیاز به حفر سه چال عمود بر هم ، مانند دستگاه محورهای مختصات فضایی دارد، به گونه‌ای که این سه چال، در یک نقطه به یکدیگر می‌رسند . پس از حفر چالها، سه سطح پهلوی، پشت و کف بلوک با دستگاه برش به وسیله سیم برش الماسه، بریده خواهد شد. در آخر پس از بریده شدن، بلوک توسط جکهای هیدرولیک یا بالشتکهای هوایی ، از جبهه کار جدا و واژگون می‌شود. شکل 1 بلوک جدا شده از پله استخراجی را نشان می‌دهد. این امر به دلیل ایجاد فضای کار و قواره سازی بلوک استخراج شده، انجام می‌شود. شایان ذکر است که منظور از ابعاد بهینه بلوک، ابعادی است که مسائل ایمنی کار در آن رعایت شده باشد. دوم اینکه مسائل فنی استخراج را امکان پذیر سازد و سوم هزینه‌های استخراج تا حد ممکن کاهش یابد (حجازی، 1374).

#### 2- توان دستگاهها

مهمترین مسئله در حفاری چالها بویژه چالهای افقی برای استخراج بلوکها این است که چال انحراف نداشته و یا در حد بسیار ناچیز باشد. انحراف چال باعث از دست رفتن نقطه تلاقی سه چال عمود بر هم خواهد شد. بنابراین، تا جایی می‌توان حفاری افقی را ادامه داد که انحراف چال باعث از بین رفتن نقطه تلاقی نشود . دستگاههای برش باید توان حرکت دادن سیم الماسه را داشته باشند. در این حالت، نیروی مقاوم ، نیروی اصطکاک بین سیم و سنگ یا به عبارت دیگر نیروی اصطکاک بین سیم و محیط سطح برش بلوک سنگ است . در این حالت، باید بیشترین طول در گیر سیم الماسه را در نظر گرفت. این میزان طول با توجه به قدرت دستگاه ،





از سیم الماسه و پارس و گوه، قواره می‌شود، هزینه قواره سازی واحد حجم سنگ از رابطه 3 محاسبه می‌شود.

$$M = \frac{\left[ \left( \frac{x}{n} - 1 \right) (h.y) + \left( \frac{x}{n} \right) K.G \right] Q + \left( \frac{x}{n} \right) (1-K).G.P}{xyh} \quad (3)$$

M = هزینه قواره سازی واحد حجم سنگ (ریال بر متر مکعب)

x = طول بلوک (m)

y = عرض بلوک (m)

h = ارتفاع بلوک (m)

n = طول بلوک مینا (m)

K = درصد قواره سازی با سیم برش در بلوک مینا

Q = هزینه برش سیمی برای هر متر مربع قواره سازی (ریال بر متر مربع)

P = هزینه روش پارس و گوه برای هر متر مربع قواره سازی (ریال بر متر مربع)

G = سطح برش مورد نیاز برای قواره سازی بلوک مینا

بنابراین کل هزینه بلوک استخراج شده و قواره شده، از جمع سه هزینه بالا به دست می‌آید (خدادادی، 1381).

$$T = D + Z + M \quad (4)$$

در جدول 1، پایه هزینه های عملیاتی محاسبه شده در یک معدن خاص نشان داده شده است. این هزینه‌ها عبارتند از:

- هزینه حفاری ریال بر متر
- هزینه برش با سیم الماسه ریال بر متر مربع
- هزینه قواره سازی با پارس و گوه ریال بر متر مربع

#### 4- تعیین ابعاد بهینه بلوک

باتوجه به مطالب گفته شده و هزینه‌های محاسبه شده حفاری، برش و قواره‌سازی، هزینه واحد حجم سنگ استخراج شده در ابعاد مختلف بلوک محاسبه می‌شود. بدین ترتیب که ابتدا یک عرض و ارتفاع مینا در نظر گرفته شده و هزینه واحد حجم سنگ برای طولهای متفاوت به دست آورده می‌شود. این افزایش طول تا جایی امکان پذیر است که چال افقی انحراف چشمگیری نداشته باشد. پس از پایان این مرحله، عرض افزایش می‌یابد و با همان ارتفاع، عملیات قبلی در طولهای متفاوت تکرار می‌شود. افزایش عرض تا جایی امکان پذیر است که مانع از واژگون سازی بلوک بعد از برش نشود. بدین ترتیب، در مرحله بعد ارتفاع افزایش می‌یابد و موارد بالا تکرار می‌شود. افزایش ارتفاع تا جایی قابل بررسی

و نگهداری، انرژی (برق)، سیم برش، دستمزد و آب برای خنک کردن سیم برش، در نظر گرفت. برای محاسبه هزینه برق نیز در صورت استفاده از مولد، استهلاک ژنراتور، تعمیر و نگهداری، سوخت، روغن و دستمزد کاربرد نیز در نظر گرفته می‌شود. در نهایت، مجموع هزینه‌های بالا، برای یک متر مربع سطح برش محاسبه می‌شود. هر بلوک به طور معمولی باید از سه جهت پهلو، پشت و کف بریده شود بنابراین هزینه برش به ازای واحد حجم ماده معدنی از رابطه 2 به دست می‌آید.

$$Z = \frac{[x.y + x.h + y.h].F}{xyh} \quad (2)$$

Z = هزینه برش سطح به ازای واحد حجم ماده معدنی (ریال بر متر مکعب)

F = هزینه برش واحد سطح ماده معدنی (ریال بر متر مربع)

#### 3-3- هزینه قواره سازی بلوک استخراجی

بر اساس شکل 2- الف، بلوک جدا شده از جبهه کار پس از واژگون شدن (شکل 2- ب) به طولهای n متري تقسیم می‌شود بهتر است n را برابر یکی از ابعاد قواره مورد نیاز در نظر گرفت. سپس بلوک‌هایی با ابعاد  $y * h * n$  به دست می‌آید (شکل 2- ج) که باید به قواره‌های نهایی تقسیم شود (شکل 2- د). پس بلوک مینا (اولیه) ابعادی به ارتفاع h و عرض y و طول n خواهد داشت (شکل 2- ج). برای قواره سازی این بلوک به یک یا چند مرحله برش  $n \times h$  متر مربعی و یک یا چند مرحله برش  $n \times y$  متر مربعی نیاز است (شکل 2- د). به ازای افزایش هر n متر از طول بلوک، محاسبات هزینه های استخراج بلوک تکرار می‌شود.

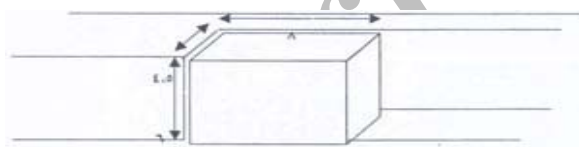
سرانجام برای این بلوک مینا، G متر مربع برش برای قواره سازی نیاز است. بر اساس طرح قواره سازی، می‌توان از دو روش سیم برش، و پارس و گوه استفاده کرد. در این معدن، از میزان محاسبه شده، G متر مربع سطح قواره سازی برای هر بلوک مینا، K درصد توسط سیم برش و بقیه توسط پارس و گوه انجام می‌شود (که این درصدها با توجه به شرایط عملیات استخراج، هزینه‌ها و دسترسی به ماشین آلات، لوازم مصرفی و نیروی انسانی انتخاب می‌شود). شیوه محاسبه هزینه برش توسط دستگاه، برای برش و قواره سازی ارائه شد. برای تکمیل این بحث، باید هزینه قواره سازی استفاده از چال موازی، و پارس و گوه نیز محاسبه شود، که در آن هزینه‌های مربوط به یک متر حفاری با چکش (پرفراتور) محاسبه می‌شود و در آخر با تعیین میزان حفاری برای یک متر مربع سطح سنگ، هزینه یک متر مربع جدا سازی با روش چال موازی، و پارس گوه تعیین می‌شود (خدادادی، 1381). با در نظر گرفتن درصدهایی از هر بلوک که با استفاده





می‌شود. در مورد نمودار هزینه قواره سازی، تأثیر افزایش ابعاد معکوس بوده و باعث افزایش هزینه‌ها می‌شود. اما در آخر جمع سه نمودار، (جمع هزینه‌ها) در نتیجه افزایش ابعاد، سیر نزولی دارد.

همچنین با توجه به جدول 2، ملاحظه می‌شود که تنها افزایش ابعاد بلوک باعث کاهش هزینه‌ها نمی‌شود بلکه کامل شدن نسبت ابعاد بلوک قواره به ابعاد بلوک اصلی، عامل مهمی در کاهش هزینه خواهد بود. شایان ذکر است که شاید ابعاد قواره نهایی محصول و مورد درخواست کارخانه‌ها مهم‌ترین عامل در تعیین ابعاد بهینه بلوک باشد، به گونه‌ای که مناسب است ابعاد بلوک اصلی به شکلی در نظر گرفته شود که قواره‌های کامل از آن حاصل شود. در این صورت است که میزان برش برای قواره سازی به حداقل رسیده و در نهایت هزینه‌های استخراج به کمترین حد خواهد رسید. از نکات مهم دیگر، تفاوت هزینه قواره سازی به وسیله دستگاه برش، و پارس و گوه است. در حال حاضر با توجه به هزینه‌های محاسبه شده قواره سازی با روش چال موازی، و پارس و گوه ارزان‌تر تمام می‌شود ولی باید کیفیت قواره سازی و محصول به دست آمده را نیز در نظر گرفت، به گونه‌ای که قواره به دست آمده از دستگاه برش، از کیفیت بهتری برخوردار است و اگر در نظر باشد محصول معدن به خارج از کشور صادر شود، این روش مطلوب‌تر خواهد بود.



شکل 1- بلوک جدا شده از پله استخراجی

است که شرایط ایمنی و توانایی دستگاه برش در نظر گرفته شود. در آخر جمع هزینه‌های حفاری، برش و قواره سازی برای واحد حجم ماده معدنی در ابعاد متفاوت محاسبه می‌شود. پس از مراحل بالا جدول و منحنیهای مجموع هزینه استخراجی بلوک در ابعاد متفاوت رسم می‌شود. این کار در معدن مورد نظر برای طولهای 2 تا 14 متر و برای عرضهای 1/5 تا 4/5 متر و برای ارتفاعهای 4 تا 9 متر انجام و 18 عدد نمودار هزینه‌ها و جدول هزینه‌ها تهیه شد. در شکل 3، نمونه‌ای از نمودار هزینه‌های واحد حجم سنگ در معدن لایبید در ارتفاع 4 متر و عرض 1/5 متر برای طولهای متفاوت ارائه شده است. همچنین جدول 2 هزینه‌های واحد حجم سنگ در ابعاد مختلف را نشان می‌دهد.

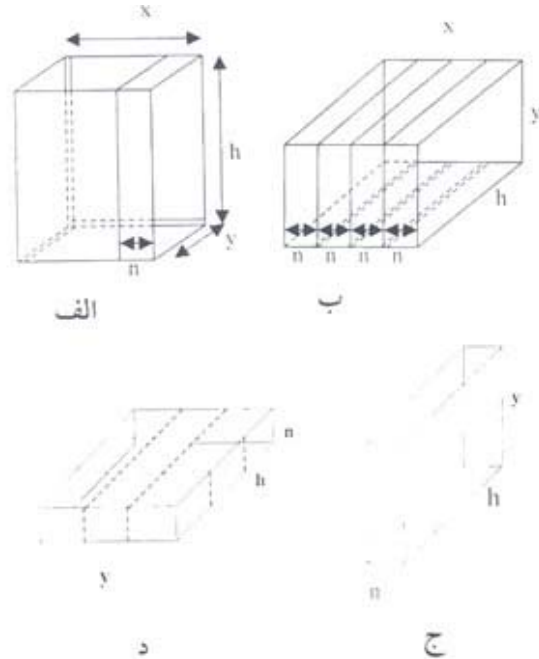
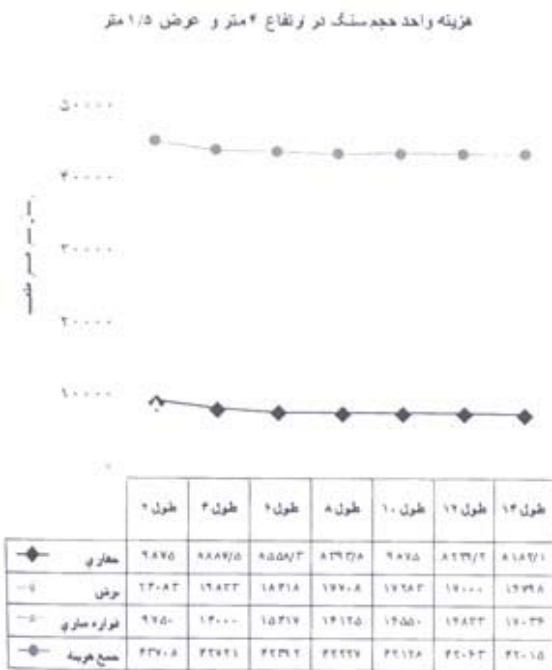
### 5- نتیجه گیری

بر پایه تحقیق انجام شده، می‌توان گفت که تعیین ابعاد بهینه بلوک با نگرشی مهندسی و اصولی در هر معدن با توجه به شرایط خاص همان معدن و توانایی دستگاههای آن امکان پذیر است و از یک روند کلی پیروی می‌کند و یا به عبارت دیگر، برای معادن سنگی که با این روش استخراج می‌شوند، قابل استفاده است. این طراحی برای یکی از معادن لایبید انجام شد و ابعاد بلوک بهینه  $6 \times 4/5 \times 8$  متر به ترتیب به عنوان طول، عرض و ارتفاع تعیین شد. اما در این معدن، در حال حاضر ابعاد بلوک استخراجی به طور میانگین  $6 \times 2 \times 3$  متر است که بر اساس جدول 2 حدود 2000 ریال به ازای هر متر مکعب نسبت به ابعاد بهینه هزینه‌ها بیشتر است.

با توجه به نمودار شکل 3 و جدول 2 ملاحظه می‌شود برای تمامی ارتفاعها و عرضها، افزایش طول بلوک باعث کاهش هزینه‌ها می‌شود، اما نمودار جمع هزینه‌ها دارای یک خط مجانب است. به همین دلیل، بیشتر شدن طول بلوک باعث افت هزینه‌ها می‌شود، به گونه‌ای که با افزایش طول به بیش از 8 متر، دیگر تأثیر چندانی بر کاهش هزینه‌ها نخواهد گذاشت (کمتر از 0/3 درصد) ضمن اینکه حفاری بیش از 8 متر انحراف چال افقی را تا از بین بردن نقطه تقاطع چالها افزایش خواهد داد. (به دلیل وزن میله‌های حفاری). این روند در مورد افزایش عرض و ارتفاع نیز به چشم می‌خورد.

همان گونه که در نمودار شکل 3 ملاحظه می‌شود با افزایش ابعاد (به عنوان نمونه طول)، هزینه‌های حفاری و برش با سیم الماسه، سر شکن شده و کاهش می‌یابد و با بیشتر شدن ابعاد، از تأثیر این پارامتر کاسته





شکل 2- شیوه حفاری، مقدار سطح برش و قواره سازی در شکل 3- هزینه های واحد حجم سنگ در ارتفاع 4 متر، عرض بلوک استخراجی 1/5 متر و طولهای مختلف (ابعاد بر حسب متر)

جدول 1- هزینه های حفاری، برش با سیم الماسه، و قواره سازی با پارس و گوه

هزینه (ریال) عملیات	استهلاك و تعمیرات	هوای فشرده	پرسنلی	مته	سیم الماسه	آب	برق	پارس و گوه	جمع (ریال)
حفاری	1400	5200	1200	8000	--	--	--	--	15800
برش با سیم الماسه	2500	--	1200	--	11500	1000	800	--	17000
قواره سازی با پارس و گوه	300	1700	6000	4500	--	--	--	1000	13500



جدول 2- هزینه‌های واحد حجم سنگ در ابعاد متفاوت (ریال بر متر مکعب)

عرض	ارتفاع	طول 2	طول 4	طول 6	طول 8	طول 10	طول 12	طول 14
1/5	4	43708	42721	42392	42227	42128	42063	42015
3	4	40592	39604	39275	39110	39012	38946	38899
4/5	4	39553	38565	38236	38072	37973	37907	37860
1/5	5	43887	43097	42833	42702	42623	42570	42532
3	5	41033	40243	39980	39848	39769	39717	39679
4/5	5	40082	39292	39029	38897	38818	38766	38728
1/5	6	40756	40097	39878	39768	39702	39658	39627
3	6	38078	37419	37200	37090	37024	36981	36949
4/5	6	37185	36527	36307	36198	36132	36088	36057
1/5	7	41305	40740	40552	40458	40402	40364	40337
3	7	38752	38188	38000	37906	37850	37812	37785
4/5	7	37902	37337	37149	37055	36999	36961	36934
1/5	8	41717	41223	41058	40976	40927	40894	40870
3	8	39258	38765	38600	38518	38468	38435	38412
4/5	8	38439	37945	37781	37698	37649	37616	37592
1/5	9	39870	39431	39285	39212	39168	39139	39118
3	9	37485	37046	36900	36827	36783	36754	36733
4/5	9	36690	36251	36105	36032	35988	35959	35938

\* واحد ابعاد متر است

**کتابنگاری**

حجازی، م.، 1374- "شناخت سنگ تزئینی"- شرکت مجتمع معادن سنگ چینی نیریز خدادادی، د.، 1381- رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس  
مجموعه مقالات دومین سمینار سنگهای ساختمانی (تزئینی و نما)، 1370- وزارت معادن و فلزات انتشارات آئینه کتاب مدنی، ح.، 1375- "خدمات فنی در معادن"- انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر

