



## تعیین ضریب تراوایی بتن با استفاده از سلول استوانه ای ویژه

دکتر محمد حاجی ستوده<sup>1</sup>، محمد مهدی خداپرست<sup>2</sup>، مسعود قاسمی<sup>3</sup>، محمد مصطفی مسعودی<sup>4</sup>

1- عضو هیئت علمی دانشگاه صنعت آب و برق [haji\\_argan@yahoo.com](mailto:haji_argan@yahoo.com)

2- کارشناسی مهندسی عمران - سازه های آبی دانشگاه صنعت آب و برق [civilmehdi@gmail.com](mailto:civilmehdi@gmail.com)

3- کارشناسی مهندسی عمران - سازه های آبی دانشگاه صنعت آب و برق [Masood.naraghi@gmail.com](mailto:Masood.naraghi@gmail.com)

4- کارشناسی مهندسی عمران - سازه های آبی دانشگاه صنعت آب و برق [ciengm3@yahoo.com](mailto:ciengm3@yahoo.com)

پست الکترونیکی رابط : [civilmehdi@gmail.com](mailto:civilmehdi@gmail.com)

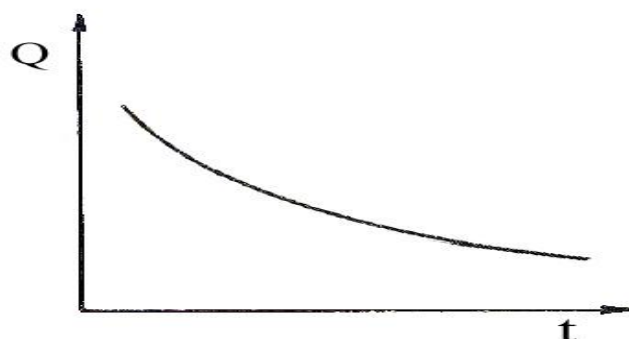
### چکیده

برای سازه های بتنی، پدیده خوردگی بتن و آرماتور داخل آن از مهمترین عوامل تهدید کننده می باشد. بتن هرچند از ترکیب دانه های سنگی، سیمان و آب ناشی می شود، ولی اغلب مستعد خرابی با نفوذ آب و ترکیبات شیمیایی می باشد. از این رو تعیین ضریب تراوایی بتن فاکتوری مهم در پیش بینی دوام بتن می باشد. دستگاه آزمایش نفوذ پذیری پس از اعمال فشار سلولی مناسب به جداره یک نمونه، فشاری کمتر از آنرا به عنوان فشار آب داخلی که از منافذ بتن عبور کرده اعمال می کند و بطور مستمر میزان آب ورودی، توسط سنسور اندازه گیری حجم آب ورودی، و آب خروجی نیز از سطح انتهایی نمونه با استوانه مدرج اندازه گیری و ثبت شده است. پس از اشباع کامل نمونه که با تثبیت وضعیت دبی مشخص می شود، می توان مقدار آب عبوری از نمونه را بر زمان مربوطه تقسیم و دبی عبوری را محاسبه کرد. گرادیان هیدرولیکی نمونه نیز با اندازه گیری دقیق ابعاد نمونه و قرائت عدد مربوط به اختلاف فشار در دوسر نمونه محاسبه می گردد. با توجه به اینکه سطح مقطع نمونه مشخص می باشد ضریب نفوذ پذیری بتن با استفاده از رابطه دارسی محاسبه می شود.

کلید واژه ها: ضریب تراوایی بتن، آزمایش سه محوری، فشار هم آورد، فشار تزریقی، گرادیان هیدرولیکی

### مقدمه

در این تحقیق از دو سری بتن با طرح اختلاط مختلف استفاده شده است. در هر سری، 2 نمونه مورد آزمایش و سن نمونه ها در زمان آزمایش تعیین ضریب تراوایی، 180 روز بوده است. جهت تعیین ضریب تراوایی باید از برقراری حالت دائمی جریان مطمئن شد. به این منظور دبی خروجی ضمن تزریق، در مقابل زمان کنترل می گردد و دبی اندازه گیری می گردد. به علت گرادیان تزریق نسبتاً بزرگ قبل از اشباع، در شروع آزمایش معمولاً دبی تزریق بالا و تدریجاً منحنی  $Q-t$  به سمت یک مجانب میل می کند (نمودار 1). مقدار  $Q$  پس از پایداری مماس به این مجانب، معادل  $Q_t$  اندازه گیری می شود. دبی پایدار همان مقدار  $Q_t$  خواهد بود که وارد معادلات دارسی می گردد.  $Q_t = A * V = K * I * A$ . در جریان این آزمایش از لحاظ تجربی موضوع فوق محسوس و دبی انتخابی، همان دبی پس از پایداری در نظر گرفته شده است.



نمودار 1- منحنی Q-t

### نحوه انجام آزمایش نفوذ پذیری بتن با دستگاه آزمایش سه محوری:

دستگاه آزمایش نفوذ پذیری پس از اعمال فشار سلولی مناسب به جداره یک نمونه، فشاری کمتر از آنرا به عنوان فشار آب داخلی که از منافذ بتن عبور کرده اعمال می کند و بطور مستمر میزان آب ورودی، توسط سسنسور اندازه گیری حجم آب ورودی، و آب خروجی نیز از سطح انتهایی نمونه با استوانه مدرج اندازه گیری و ثبت شده است. پس از اشباع کامل نمونه که با تثبیت وضعیت دبی مشخص می شود، می توان مقدار آب عبوری از نمونه را بر زمان مربوطه تقسیم و دبی عبوری را محاسبه کرد. گرادیان هیدرولیکی نمونه نیز با اندازه گیری دقیق ابعاد نمونه و قرائت عدد مربوط به اختلاف فشار در دوسر نمونه که معمولا برابر با فشار (BP) میباشد محاسبه می گردد.

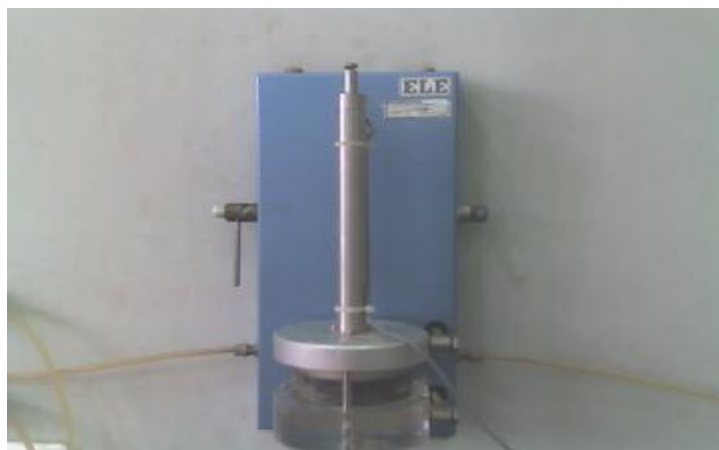


شکل 1-نمایی کلی از دستگاه تست سه محوره

نمونه های استوانه ای برای نصب در دستگاه به روش کرگیری بتن از نمونه های استاندارد به قطر 15 سانتیمتر شده است تا نمونه ای با ابعاد متناسب با دستگاه آماده شود این نمونه، استوانه ای با قطر تقریبی 10 سانتی متر و ارتفاع 5 سانتی متر می باشد.



شکل 2 - حسگر رایانه ای نیروی محوری (کنترل کننده فشار هم جانبی)



شکل 3- حسگر رایانه ای اندازه گیری آب ورودی به داخل نمونه : VOLUME CHANGE



شکل 4 - تابلوی اندازه گیری فشار هم آورد و فشار تزریقی با کنترل مستمر



نهایتاً اطلاعات مشابه آنچه در ادامه ارائه شده است از سیستم مانیتورینگ دستگاه قرائت و ثبت گردید ضریب نفوذ پذیری بتن در سن 180 روزه نیز با استفاده از ابژه داری محاسبه و در جدول نتایج آورده شده است ..



شکل 5 - سیستم تغذیه و نگهداری داده ها در سیستم سه محوری

#### اصول تئوریک تعیین ضریب نفوذ پذیری در آزمایش تراوایی بتن :

تعیین تراوایی با استفاده از قانون داری صورت گرفته است در این روش نمونه ای به ارتفاع معین تحت بار هیدرولیکی  $h$  قرار می گیرد این ارتفاع، معادل

$$H = (B.P * 1000) / 9810$$

فشار  $B.P$  است که از رابطه زیر بدست می آید اگر  $B.P$  بر حسب  $kpa$  باشد :

$$I = H / l$$

از طرف دیگر گرادیان هیدرولیکی از رابطه :

بدست آمد که  $H$  همان اختلاف بار هیدرولیکی وارد بر نمونه و  $l$  ارتفاع نمونه بوده است . نهایتاً برای محاسبه  $K$  طبق رابطه داری از رابطه زیر استفاده شد، با توجه به این نکته که دبی اعمال شده در رابطه، دبی عبوری از نمونه پس از تثبیت و خطی شدن نمودار دبی-زمان است که با استفاده از سیستم رسم نمودار دستگاه مشخص می گردد

$$K = Q / AI$$

که در این رابطه :

$$I = \text{گرادیان هیدرولیکی} \quad Q = \text{دبی خروجی است} \quad A = \text{سطح مقطع نمونه است.}$$

جدول 1- داده های خروجی دستگاه، مربوط به نمونه های سری 1

نمونه سری 1 180 روزه		Back pressure = 200kpa Cell pressure=250kpa	Back pressure = 300kpa Cell pressure=350kpa
ردیف	Time(min)	Volume change(ml)	Volume change(ml)
0	0	0.01	0.01
1	0.15	0.03	0.03
2	0.20	0.03	0.04
3	0.25	0.03	0.04

<sup>1</sup> (BP) : فشار آب ورودی به داخل نمونه در آزمایش نفوذ پذیری در دستگاه سه محوری



4	0.32	0.04	0.04
5	0.40	0.04	0.04
6	0.50	0.04	0.05
7	0.63	0.04	0.06
8	0.80	0.06	0.07
9	1.0	0.06	0.10
10	1.27	0.09	0.10
11	1.58	0.09	0.13
12	2	0.13	0.15
13	2.52	0.16	0.19
14	3.17	0.19	0.23
15	4.0	0.22	0.28
16	5.03	0.30	0.37
17	6.35	0.36	0.45
18	8	0.44	0.57
19	9.45	0.51	0.65
20	11.90	0.64	0.81
21	15	0.78	1
22	18.90	0.97	1.22
23	23.82	1.17	1.49
24	30	1.44	1.81
25	37.80	1.75	2.18
26	60.00	2.12	2.61
27	76.00	2.53	3.12
28	95.00	3.06	3.74
29	120.00	3.62	4.44

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = 3.14 * 9.96^2 / 4 = 77.91$$

$$I = \frac{\Delta H}{\Delta L} = 20000 / (9.81 * 5.2) = 392.06 \text{ (1 سری BP=200 Kp)}$$

$$K = Q/AI = [(3.62 - 0.09) / ((120 - 1.27) * 60)] / [(77.9 * 392.06)] = 1.62 * 10^{-8} \text{ cm/sec}$$

$$I = \frac{\Delta H}{\Delta L} = 30000 / (9.81 * 5.2) = 588.09 \text{ (1 سری BP=300 Kp)}$$

$$K = Q/AI = [(4.44 - 0.10) / ((120 - 1.27) * 60)] / [(77.9 * 588.09)] = 1.69 * 10^{-8} \text{ cm/sec}$$

$$K_{av} = 1.65 * 10^{-8} \text{ cm/sec}$$



جدول 2- داده های خروجی دستگاه، مربوط به نمونه های سری 2

نمونه ۲ ۱۸۰ روزه		Back presure = 300kpa Cell pressure=350kpa	Back presure = 200kpa Cell pressure=250kpa
ردیف	Time(min)	Volume change(ml)	Volume change(ml)
0	0	0.02	0.01
1	0.15	0.04	0.04
2	0.20	0.05	0.04
3	0.25	0.05	0.03
4	0.32	0.05	0.05
5	0.40	0.07	0.04
6	0.50	0.09	0.05
7	0.63	0.11	0.07
8	0.80	0.14	0.10
9	1.0	0.17	0.13
10	1.27	0.21	0.15
11	1.58	0.25	0.18
12	2	0.31	0.22
13	2.52	0.37	0.28
14	3.17	0.46	0.34
15	4.0	0.57	0.43
16	5.03	0.71	0.51
17	6.35	0.86	0.64
18	8	1.00	0.73
19	9.45	1.22	0.92
20	11.90	1.47	1.10
21	15	1.78	1.35
22	18.90	2.16	1.64
23	23.82	2.62	1.98
24	30	3.14	2.41
25	37.80	3.78	2.91
26	60.00	4.54	3.51

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = 3.14 * 10.2^2 / 4 = 81.71 \text{ cm}^2$$

$$I = \frac{\Delta H}{\Delta L} = 20000 / (9.81 * 5.0) = 407.74 \text{ (2 سری BP=200 Kp)}$$

$$K = Q / AI = [(3.51 - 0.15) / ((60 - 1.27) * 60)] / [(81.71 * 407.74)] = 2.86 * 10^{-8} \text{ cm/sec}$$

$$I = \frac{\Delta H}{\Delta L} = 30000 / (9.81 * 5.0) = 611.62 \text{ (2 سری BP=300 Kp)}$$

$$K = Q / AI = [(4.54 - 0.21) / ((60 - 1.27) * 60)] / [(81.71 * 611.62)] = 2.45 * 10^{-8} \text{ cm/sec}$$

$$K_{av} = 2.65 * 10^{-8} \text{ cm/sec}$$



### نتیجه گیری

برای تعیین ضریب تراوایی بتن، در انجام آزمایش با استفاده از دستگاه سه محوری، کنترل شرایط اشباع و دبی عبوری و فشار اعمال شده با دقت بسیار بالا و توسط سیستم دیجیتال انجام می شود و نتایج بدست آمده قابل اطمینان می باشد.

### منابع و مآخذ

- [1] Concrete and aggregates. 1988. Annual Book of ASTM Standards, part 04.02 ASTM, Philadelphia, PA, 751pp.  
[2] Aci Manual of Concrete Practice, part 5, American Concrete Institute, Detroit, MI, 22 pp.

[3] دکتر محمد حاجی ستوده، ارزیابی کاربرد بتن الیاف فولادی و بررسی اقتصادی آن، سازمان مدیریت منابع آب ایران، تهران 1383