**آزمایش هفتم:**

# آزمون خمش سه نقطه‌ای (*Three point flexural test*)

**هدف:** انجام آزمون خمش سه‌نقطه‌ای روی نمونه‌های از جنس‌های مختلف

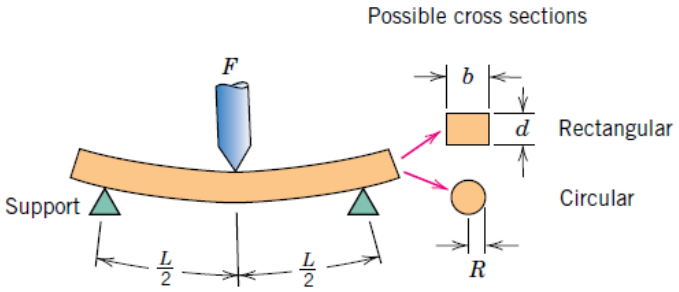
## مقدمه و شرح آزمایش:

به سه دلیل رفتار تنش- کرنش سرامیک‌های ترد را به‌وسیله آزمون کشش مشخص نمی‌کنند:

۱- آماده‌سازی نمونه برای آزمون کشش سخت است.

۲- گرفتن نمونه سرامیکی ترد به‌وسیله فک‌های دستگاه کشش معمولاً باعث شکست آن می‌شود.

۳- سرامیک‌ها معمولاً در کرنش‌های بسیار کم (کمتر از ۱٪) دچار شکست می‌شوند و در نتیجه نمونه باید جهت‌گیری بسیار مناسبی داشته باشد تا فقط تحت نیروهای محوری بوده و نیروی خمشی به آن وارد نشود. بنابراین، نمونه‌های سرامیکی را به جای آزمون کشش، معمولاً تحت آزمون خمش قرار می‌دهند. فلزات، پلیمرها و مواد کامپوزیتی که در کاربرد نهایی نیروهای خمشی تحمل می‌کنند نیز تحت آزمون خمش قرار می‌گیرند. در این آزمون، یک میله با مقطع دایره‌ای یا مستطیلی تا لحظه شکست تحت نیروی خمشی قرار می‌گیرد. این آزمون به دو روش سه نقطه‌ای و چهار نقطه‌ای انجام می‌شود. تصویر شماتیک آزمون خمش سه نقطه‌ای در شکل زیر نشان داده شده است. مطابق شکل، سطح بالایی نمونه تحت تنش فشاری است، در حالی که سطح پایینی تحت تنش کششی قرار دارد.




A three-point loading scheme for measuring the stress–strain behavior and flexural strength of brittle ceramics, including expressions for computing stress for rectangular and circular cross sections.

$\sigma$ = stress = $\frac{Mc}{I}$

where $M$ = maximum bending moment
$c$ = distance from center of specimen to outer fibers
$I$ = moment of inertia of cross section
$F$ = applied load

| | $M$ | $c$ | $I$ | $\sigma$ |
|---|---|---|---|---|
| Rectangular | $\frac{FL}{4}$ | $\frac{d}{2}$ | $\frac{bd^3}{12}$ | $\frac{3FL}{2bd^2}$ |
| Circular | $\frac{FL}{4}$ | $R$ | $\frac{\pi R^4}{4}$ | $\frac{FL}{\pi R^3}$ |

حداکثر تنش کششی، در سطح زیرین قطعه و دقیقاً در پایین محل اعمال نیرو قرار دارد. از آنجا که استحکام کششی سرامیک‌ها چندین برابر کم‌تر از استحکام فشاری آنها است و شکست در سمتی که تحت تنش کششی است اتفاق می‌افتد، آزمون خمش جایگزین مناسبی برای آزمون کشش بوده و مقاومت مواد ترد را در مقابل تنش‌های کششی نشان می‌دهد.

تنش در لحظه شکست در آزمون خمش را به عنوان استحکام خمشی ( flexural strength or bend strength) یا مدول گسیختگی (modulus of rupture) شناخته و یک پارامتر مکانیکی مهم برای سرامیک‌های ترد به حساب می‌آید. این پارامتر برای یک مقطع مستطیلی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\sigma_{fs} = \frac{3F_f L}{2bd^2}$$

که $F_f$ نیرو در لحظه شکست و $L$ فاصله بین نقاط نگهدارنده پایین هستند و پارامترهای دیگر در شکل مشخص شده‌اند.

هنگامی که مقطع نمونه دایره باشد داریم:

$$\sigma_{fs} = \frac{F_f L}{\pi R^3}$$

که $R$ شعاع نمونه است.

در این آزمایش دو نمونه فلزی و سرامیکی تحت آزمون خمش سه نقطه‌ای قرار می‌گیرند و نتایج حاصل با هم مقایسه می‌شوند.

## خواسته‌های آزمایش:

- رسم نمودار نیرو-جابجایی برای نمونه‌های آزمایش شده
- محاسبه مدول گسیختگی برای نمونه‌هایی که دچار شکست می‌شوند.
- محاسبه مدول خمشی نمونه‌های آزمایش شده (با استفاده از مراجع)

## سوالات:

۱- چند مورد از استفاده‌های صنعتی آزمون خمش برای فلزات را بیان کنید. (چند قطعه فلزی که لازم است قبل از استفاده تحت آزمون خمش قرار گیرند را نام ببرید.)

۲- با مراجعه به استاندارد ASTM D 790 بیان کنید که نمونه آزمون خمش سه‌نقطه‌ای باید چه ویژگی‌های ابعادی داشته باشد.

۳- تفاوت‌های آزمون خمش سه نقطه‌ای و چهارنقطه‌ای از نظر نحوه انجام و دقت نتایج چیست؟ کدام یک از این آزمون‌ها برای نمونه‌های سرامیکی مناسب‌تر است؟ چرا؟