

تعیین نفوذ پذیری رس با روش غیر مستقیم (تحکیم) و مقایسه آن با روش مستقیم

حسن رحیمی

استادیار گروه آبیاری و آبادانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران - کرج

تاریخ وصول ، سی ام فروردین ماه ۱۳۶۵

چکیده

در این مقاله، نتایج حاصل از دو روش مستقیم و غیرمستقیم تعیین نفوذ پذیری برای چندین نمونه خاک رس متراکم شده و دست نخورده ارائه شده است. این نتایج نشان می دهند که ضریب نفوذ پذیری بدست آمده از آزمایش مستقیم در پرما متر، و با روش بار هیدرولیکی ثابت کاملاً "بانتایج حاصل از آزمایش تحکیم قابل مقایسه می باشد". روابط خطی نظری موجود بین e (نسبت تخلخل) و $\log k$ (لگاریتم ضریب نفوذ پذیری)، و $\log P$ و $\log k$ (لگاریتم فشار تحکیم) نیز بطریق تجربی ثابت گردیدند. همچنین در این تحقیق، تغییرات نفوذ پذیری خاک با زمان نشان داده شده است. نتیجه کلی آنکه نفوذ پذیری یک محوری خاکهای رسی رامی توان به نحوی قابل اطمینان با استفاده از نتایج تحکیم برآورد نمود، بنحوی که این نتایج با آنچه که از اندازه گیری مستقیم نفوذ پذیری در پرما متر حاصل می شود، تفاوت قابل ملاحظه ای نخواهد داشت.

مقدمه

دانستن نفوذ پذیری خاکهای رسی در حل بسیاری از مسائل مربوط به عملیات خاکی ضروری است. بعنوان نمونه هائی در این زمینه می توان پمپاژ آبهای زیرزمینی، طرح فیلترهای خاکی، طرح سدهای خاکی، طرح زهکشها و غیره را نام برد (۴).

نفوذ پذیری خاکهای رسی رامی توان به طریق مستقیم با استفاده از اندازه گیری مقدار جریان (۷ و ۱۰ و ۱۱) و با استفاده از نتایج آزمایش تحکیم (روش غیر مستقیم) (۹ و ۱۲) تعیین نمود. روشهای مستقیم آزمایشگاهی شامل روش ارتفاع هیدرولیکی ثابت و متغیر است، که با استفاده از انواع پرما مترها قابل

اجرا می باشد. طبق نظریه تحکیم، ضریب نفوذ پذیری با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه می باشد:

$$k = \frac{c_v \cdot a_v \cdot \gamma_w}{1 + e_0}$$

که در آن، c_v ضریب تحکیم، a_v ضریب فشردگی، γ_w وزن واحد حجم آب، و e_0 نسبت تخلخل اولیه خاک است.

گرچه مطالعات نظری و تجربی زیادی در مورد نفوذ پذیری و روشهای تعیین آن صورت گرفته است، اما در مورد مقایسه نتایج تعیین این ضریب بصورت مستقیم و غیرمستقیم، اطلاعات بسیار اندکی در دست است. ماتیاس (۵) با استفاده از دستگاه آزمایش سه

دلیل عدم تشابه و یانقص های موجود دور ریخته شدند، و حداکثر سعی بعمل آمده است، تا سایر عواملی که ممکن است بر نفوذپذیری موثر باشند، حذف گردد.

نمونه های متراکم شده با استفاده از روش های تراکم استاندارد و تحت رطوبت بهینه تهیه گردیدند. برای آزمایش نفوذپذیری مستقیم، نمونه ها مستقیماً " در قالب تراکم استاندارد متراکم و مورد آزمایش قرار گرفته اند، در حالیکه برای انجام آزمایش های تحکیم، نمونه ها بدواً " در قالب استاندارد متراکم گردیده، و سپس با استفاده از حلقه های لبه تیز تحکیم نمونه برداری و سپس آزمایش مربوطه انجام شده است.

برای تهیه نمونه های دست نخورده از قالب های لبه تیز جدارنازک (لوله شلبی) با قطر مناسب که مستقیماً " داخل خاک کوبیده می شوند، استفاده گردیده است. در آزمایش های تحکیم قطر نمونه ها ۷/۲ و ارتفاع آنها ۲/۵۴ سانتی متر، و در آزمایش های نفوذپذیری مستقیم ابعاد نمونه ها ۱۱/۴۳ x ۱۰/۱۶، و یا ۷/۱۶ x ۳/۴۳ سانتی متر انتخاب شده است.

دستگاه مورد استفاده برای آزمایش های تحکیم، دستگاه استاندارد قپانی است، که با وزنه های ثابت عمل می نماید، و برای انجام آزمایش های نفوذپذیری نیز از پرما مترهای متداول استفاده گردید. به دلیل نفوذپذیری بسیار کم خاک های رسی مورد مطالعه، با کمک هوای فشرده، سیستم مخصوصی جهت ایجاد گرادیان هیدرولیکی بالا (با ایجاد فشاری در حدود ۳/۵ کیلو گرم بر سانتی متر مربع) طرح، و ساخته شد. گرادیان هیدرولیکی مورد استفاده در آزمایش های نفوذپذیری بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ متغیر بوده، و سعی گردید در تمام طول آزمایش، بار هیدرولیکی ثابت باقی بماند.

محوری نفوذپذیری یک نوع رس را به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم تعیین نموده است، که در طی این آزمایشات نتایج حاصله بیش از ۵۰۰ درصد بایکدیگر اختلاف داشته اند. او هیچگونه توضیحی را در جهت توجیه این اختلاف ارائه ننموده، و بعلاوه مقادیر نسبت تخلخل متناظر با نتایج بدست آمده را مشخص نساخته است. هدف از این تحقیق، عبارتست از مقایسه مقادیر نفوذپذیری بدست آمده با استفاده از پرما متر و ارقام حاصله از نتایج آزمایش تحکیم که هر دو روش برای نمونه های مختلف خاک رس، بصورت دست خورده و دست نخورده بکار برده شده است. نتایج بدست آمده در این تحقیق می تواند در بر آورد نفوذپذیری خاک های رسی در حین فرآیند تحکیم، بخصوص در هسته سدهای خاکی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روشها

برای انجام این تحقیق ۵ نمونه خاک رس دست خورده، و ۸ نمونه خاک رس دست نخورده از نقاط مختلف تهیه و مورد آزمایش قرار گرفتند. خصوصیات فیزیکی این خاکها در جدول شماره ۱ و ۲ درج گردیده است.

لازم به تذکر است که در چنین تحقیقی که می باید یکی از خصوصیات خاک به دوروش اساساً " متفاوت تعیین، و سپس مقایسه مستقیم نتایج صورت گیرد، باید حداکثر دقت در تهیه و آماده سازی نمونه ها بعمل آید، و نمونه ها حداکثر تشابه را بایکدیگر داشته باشند، تا دقت لازم در این مقایسه تامین گردد.

در انجام آزمایشات مربوط به این تحقیق، بسیاری از نمونه ها، چه در حین آماده سازی، و چه پس از آن به

جدول شماره ۱ - خصوصیات نمونه‌های متر اکم شده

شماره نمونه	حد روانی (%)	حد خمیری (%)	انديس خمیری (%)	دانه بندی		رطوبت بهینه (%)	وزن مخصوص
				ماسه (%)	لاي (%)		
۱	۲۸/۶	۲۶/۰	۱۲/۶	۹۰/۰	۴/۰	۲۲/۰	۲/۷۸
۲	۳۲/۲	۲۱/۴	۱۱/۹	۵۹/۰	۳/۰	۲۲/۰	۲/۷۴
۳	۱۲۲/۷	۷۲/۹	۵۸/۹	۶۵/۰	۵/۰	۶۵/۰	۲/۸۲
۴	۶۴/۸	۲۴/۰	۴۰/۸	۵۰/۰	۶/۰	۲۰/۰	۲/۷۰
۵	۵۵/۴	۲۲/۷	۳۲/۷	۵۶/۰	۸/۰	۲۶/۰	۲/۷۴

حسن رحیمی : تعیین نفوذپذیری رس

جدول شماره ۲ - خصوصیات نمونه‌های دست نخورده

شماره نمونه	عمق تهیه (متر)	رطوبت طبیعی (%)	وزن مخصوص	نسبت تخلخل	درجه پوکی	توصیف نمونه
۱	۸/۵	۲۴/۰	۲/۶۹	۰/۷۲۴	۰/۴۲۲	رس لای دار قرمز با پلاستیسیته متوسط
۲	۳/۰	۲۲/۲	۲/۶۸	۰/۶۷۸	۰/۴۱۶	رس لای دار قهوه ای با پلاستیسیته متوسط
۳	۱۴/۰	۲۲/۰	۲/۶۸	۰/۶۲۴	۰/۲۹۱	رس لای دار قهوه ای با پلاستیسیته بالا
۴	۲/۵	۱۸/۲	۲/۶۸	۰/۶۰۷	۰/۳۷۸	رس لای دار همراه ماسه با پلاستیسیته کم
۵	۱/۰	۲۶/۰	۲/۶۷	۰/۸۹۵	۰/۴۷۲	رس لای دار همراه ماسه حاوی مواد آلی با پلاستیسیته کم
۶	۵/۰	۲۴/۰	۲/۷۵	۰/۷۰۷	۰/۴۱۴	رس لای دار قرمز بسیار سخت با پلاستیسیته بالا
۷	۱/۰	۲۲/۰	۲/۶۹	۰/۷۱۲	۰/۴۱۶	رس لای دار حاوی مواد آلی با پلاستیسیته متوسط تا کم
۸	۲/۰	۲۰/۰	۲/۷۰	۰/۶۸۰	۰/۴۰۵	رس لای دار قهوه ای رنگی با پلاستیسیته متوسط

در هر دوسری آزمایشها سعی شد حتی الامکان درجه اشباع نمونه‌ها به ۱۰۰ درصد، یا حدود آن نزدیک گردد، تا بدین ترتیب اثرات جنبی ناشی از وجود حبابهای هوا در نمونه‌های خاک به حداقل کاهش یابد. طبق اندازه گیری‌هایی که بعمل آمد، درجه اشباع در هیچیک از نمونه‌ها از ۹۰ درصد کمتر نبود.

برای هر یک از انواع خاکها ۳ تا ۵ نمونه مورد آزمایش تحکیم، و چهار تا شش نمونه مورد آزمایش نفوذپذیری قرار گرفته، و سپس متوسط ارقام حاصل از مجموعه آزمایشات بعنوان نفوذپذیری خاک مذکور انتخاب گردیده است.

نتایج و بحث

الف - نتایج آزمایشات نفوذپذیری مستقیم

ضریب نفوذپذیری تمام نمونه‌های دست نخورده و متراکم شده با اندازه‌گیری مقدار جریان آب عبوری از نمونه‌ها و با استفاده از فرمول عمومی داریسی بشکل زیر

$$k = \frac{V}{t} \cdot \frac{L}{A \cdot h}$$

محاسبه شده است:

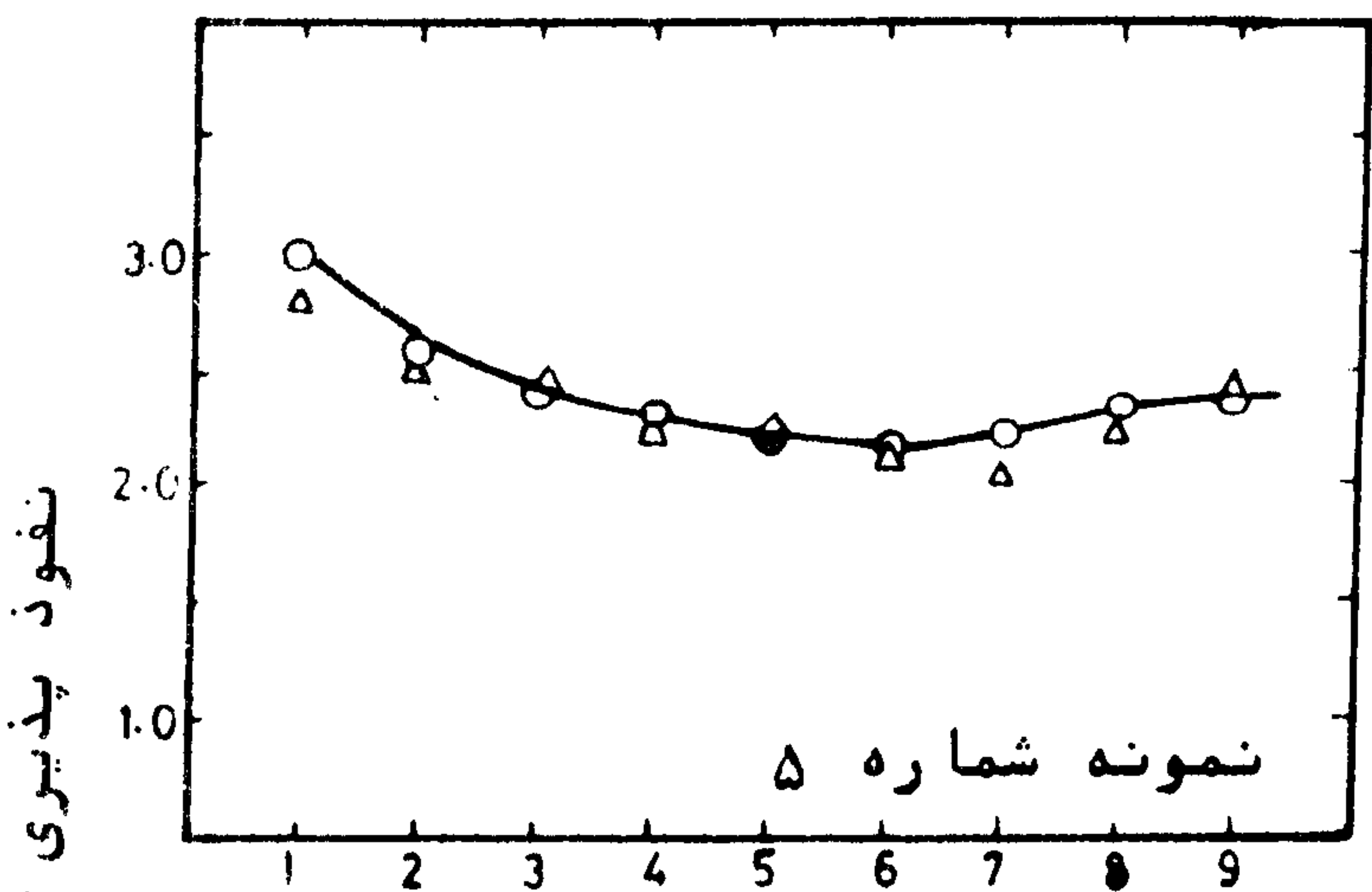
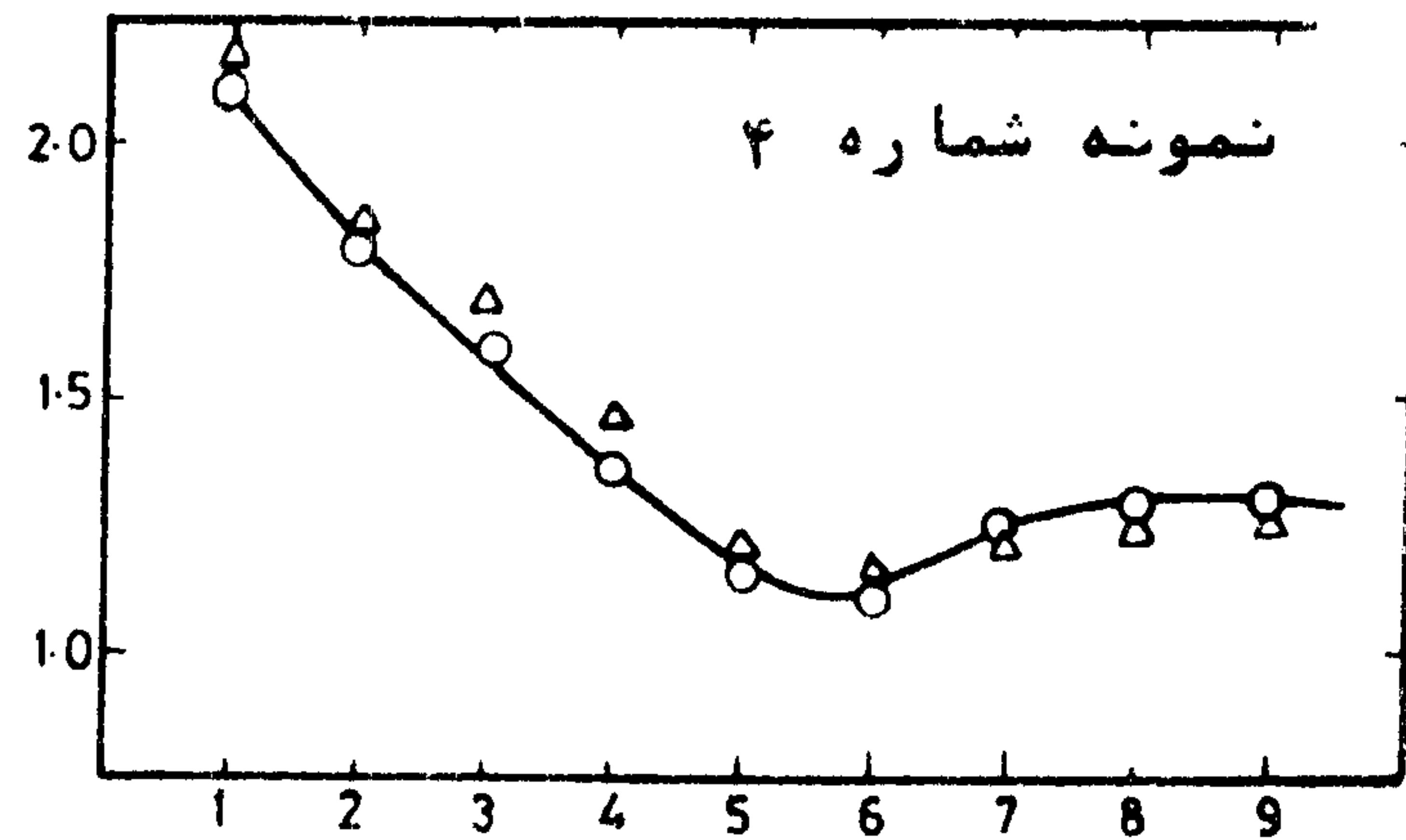
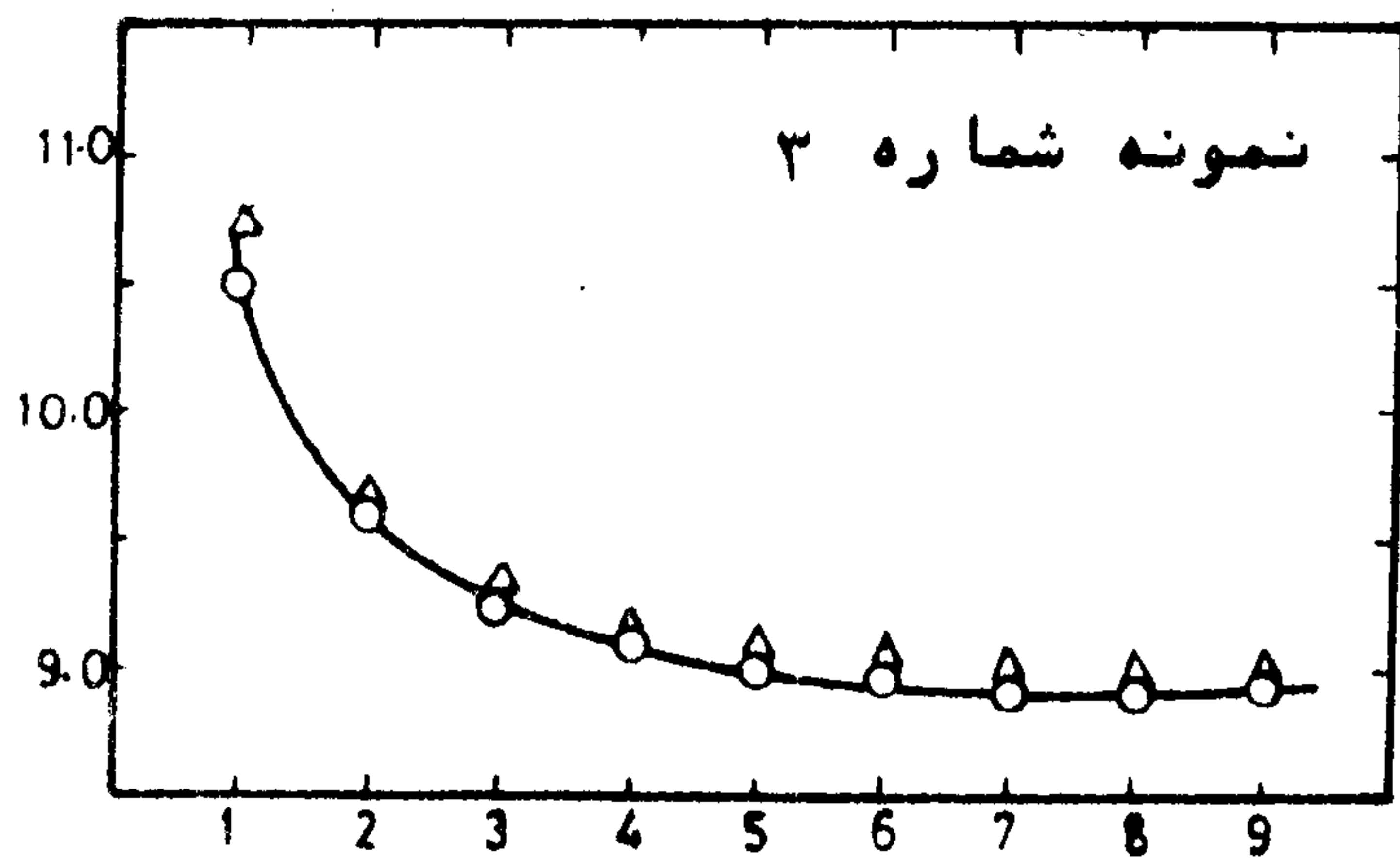
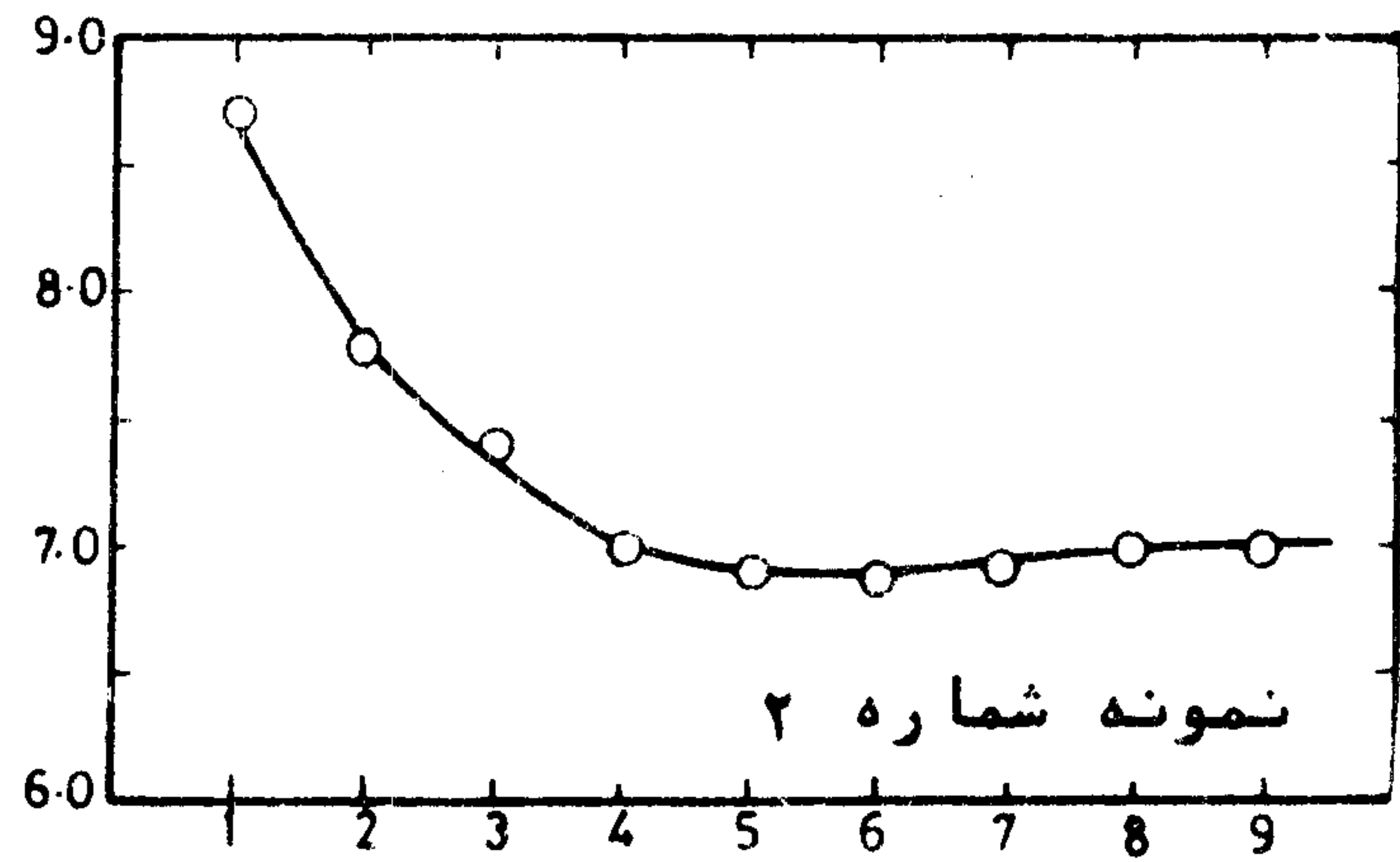
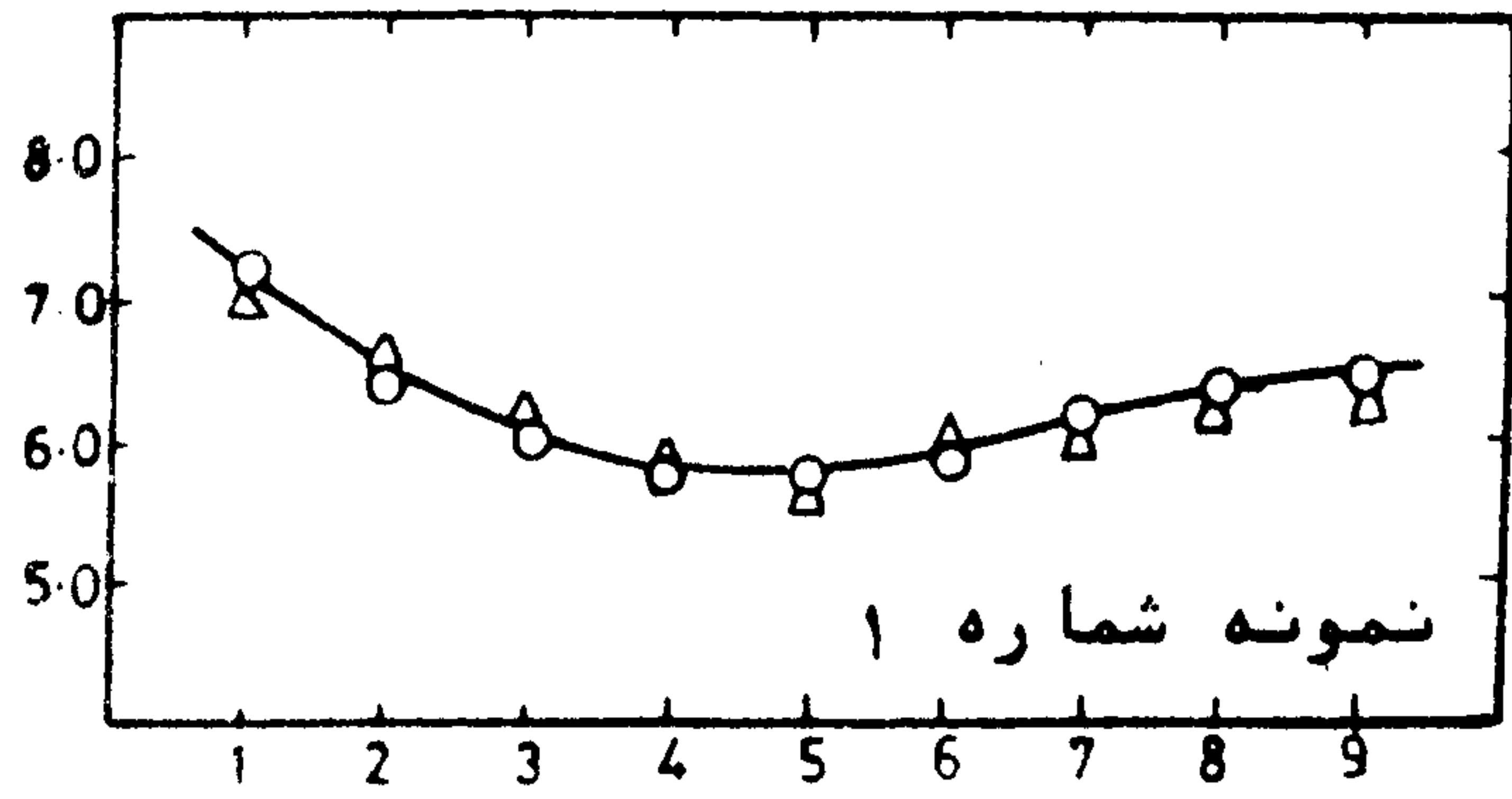
که در آن، V حجم آب خارج شده از پرمتر بر حسب سانتی متر مکعب، t فاصله زمانی انجام آزمایش بر حسب ثانیه، L طول نمونه خاک در جهت جریان بر حسب سانتی متر، A سطح مقطع نمونه خاک در جهت عمود بر جریان بر حسب سانتی متر مربع و h فشار آب اعمال شده روی نمونه بر حسب سانتی متر می‌باشد. در ایسن رابطه، k بر حسب سانتی متر بر ثانیه بدست خواهد آمد. آزمایش نفوذپذیری روی هر نمونه بمدت ۱۰ روز ادامه یافته، و تغییرات نفوذپذیری متوسط بازماند ترسیم گردید. نتایج حاصل از این بخش از آزمایشات

در شکل شماره ۱ برای نمونه‌های متراکم شده، و در شکل شماره ۲ برای نمونه‌های دست نخورده ارائه شده است. برای آنکه اثر اندازه نمونه بر نتایج حاصله مشخص شود، آزمایشات نفوذپذیری برای هر یک از نمونه‌های خاک در دو اندازه مختلف استاندارد کوچک و بزرگ ($7/16 \text{ CM} \times 3/43 \text{ CM}$ و $11/43 \text{ CM} \times 10/16 \text{ CM}$)

انجام گردیده است و همانگونه که شکل ۱ نشان می‌دهد اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین نتایج بدست آمده مشاهده نمی‌گردد. در تمام این آزمایشها مقدار نفوذپذیری با زمان کاهش یافته است، که این امر با نتایج مطالعات دیگر محققین مطابقت دارد (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸). در بیشتر حالات پس از گذشت زمان نسبتاً طولانی ضریب نفوذپذیری بمقدار ثابتی رسیده است.

در بعضی موارد (نمونه‌های شماره ۱، ۲، ۴ و ۵ در شکل ۱، و نمونه‌های شماره ۴ و ۶ در شکل ۲) منحنی تغییرات نفوذپذیری با زمان بدو " از یک نقطه حداقل گذشته، و مجدداً پس از افزایش مختصری به مقدار ثابت می‌رسد. کاهش اولیه نفوذپذیری معمولاً بدلیل مهاجرت ذرات خیلی ریز و احتمالاً " تورم رس می‌باشد، که با تحقیقات بودمن (۱)، میشل (۶) و پیلسبورگ (۸) مطابقت دارد. افزایش نفوذپذیری در مراحل بعدی آزمایش نیز عمدتاً بدلیل حل و خارج شدن حبابهای هوای محبوس داخل خاک است، که بدو " در خاک وجود داشته‌اند (۴).

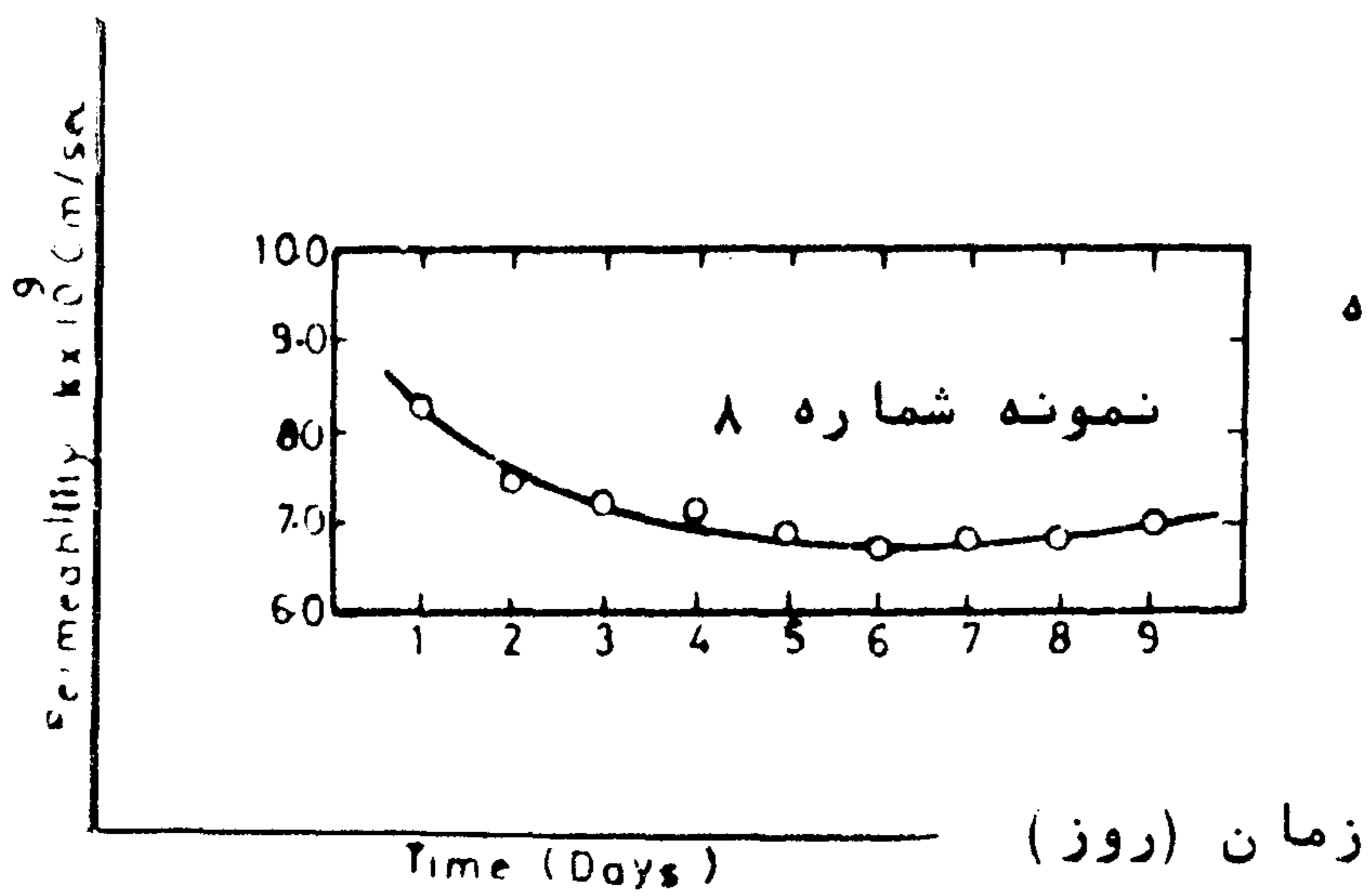
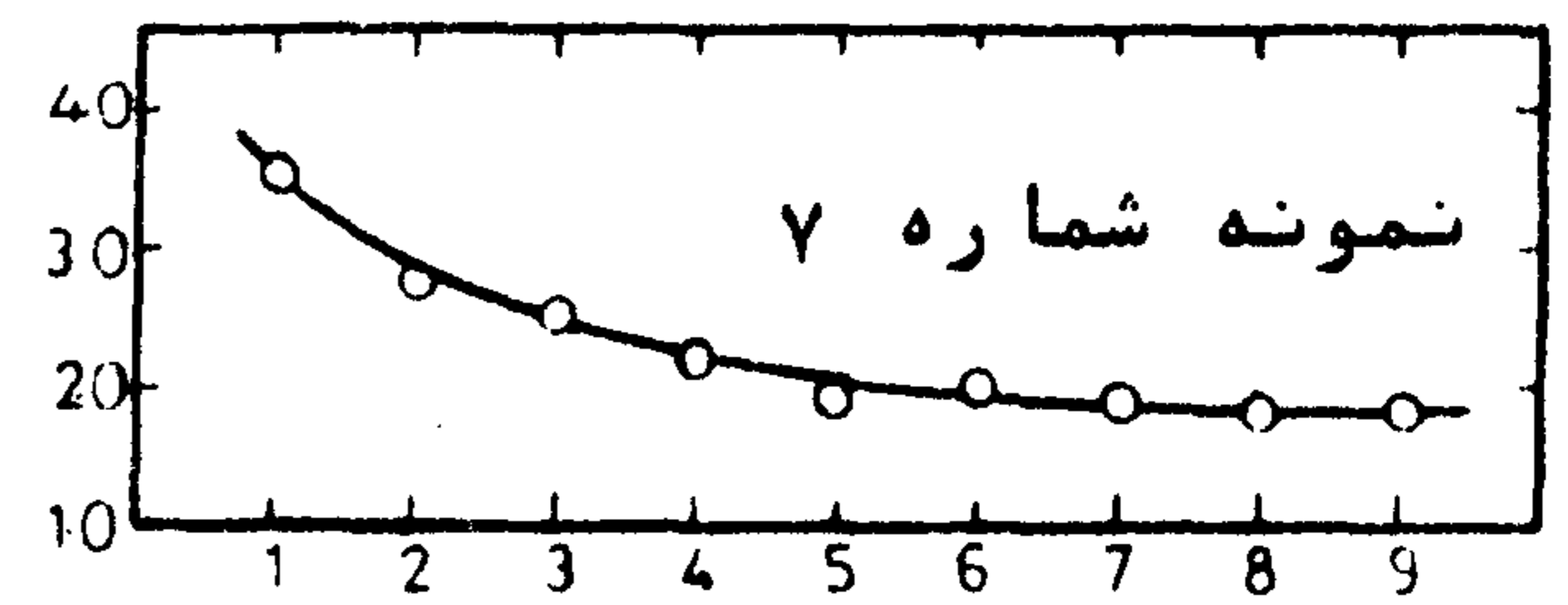
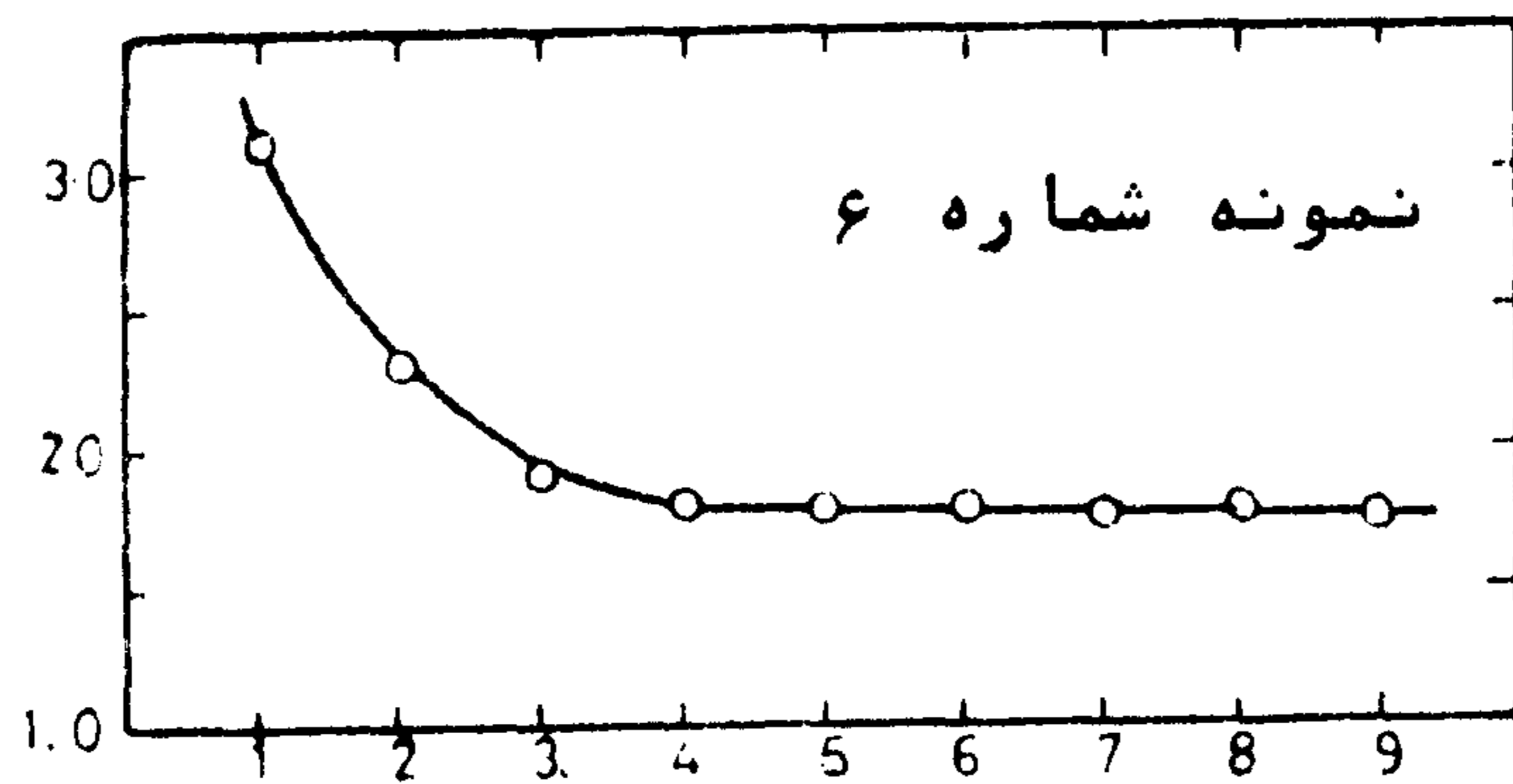
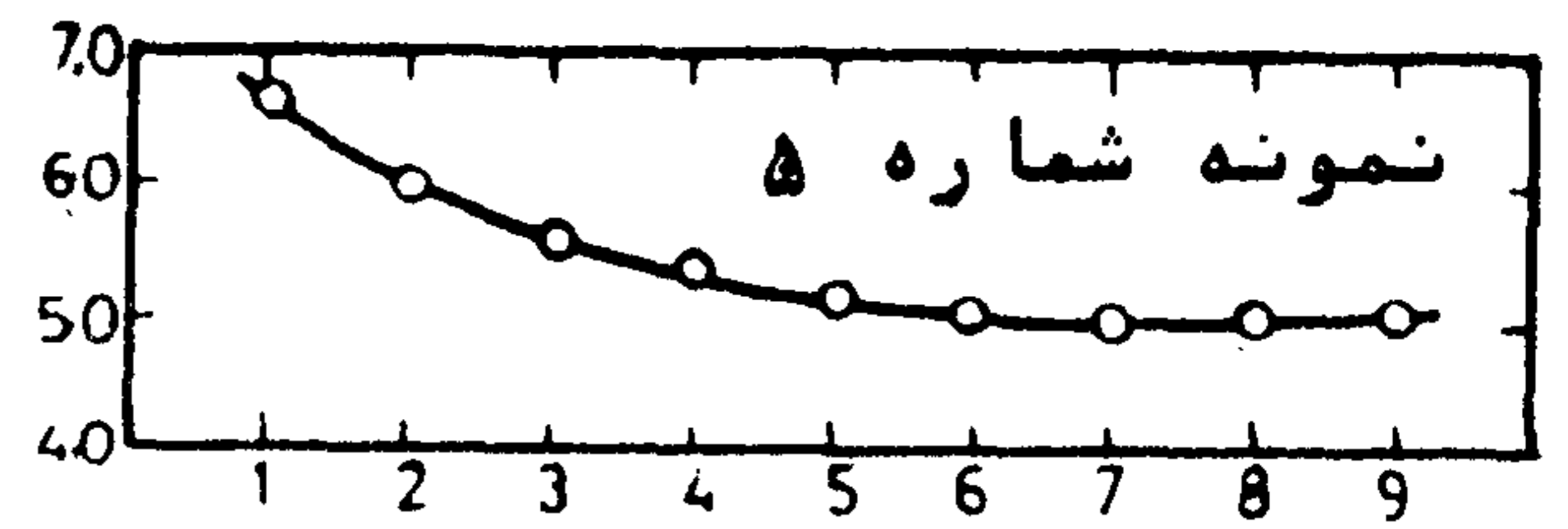
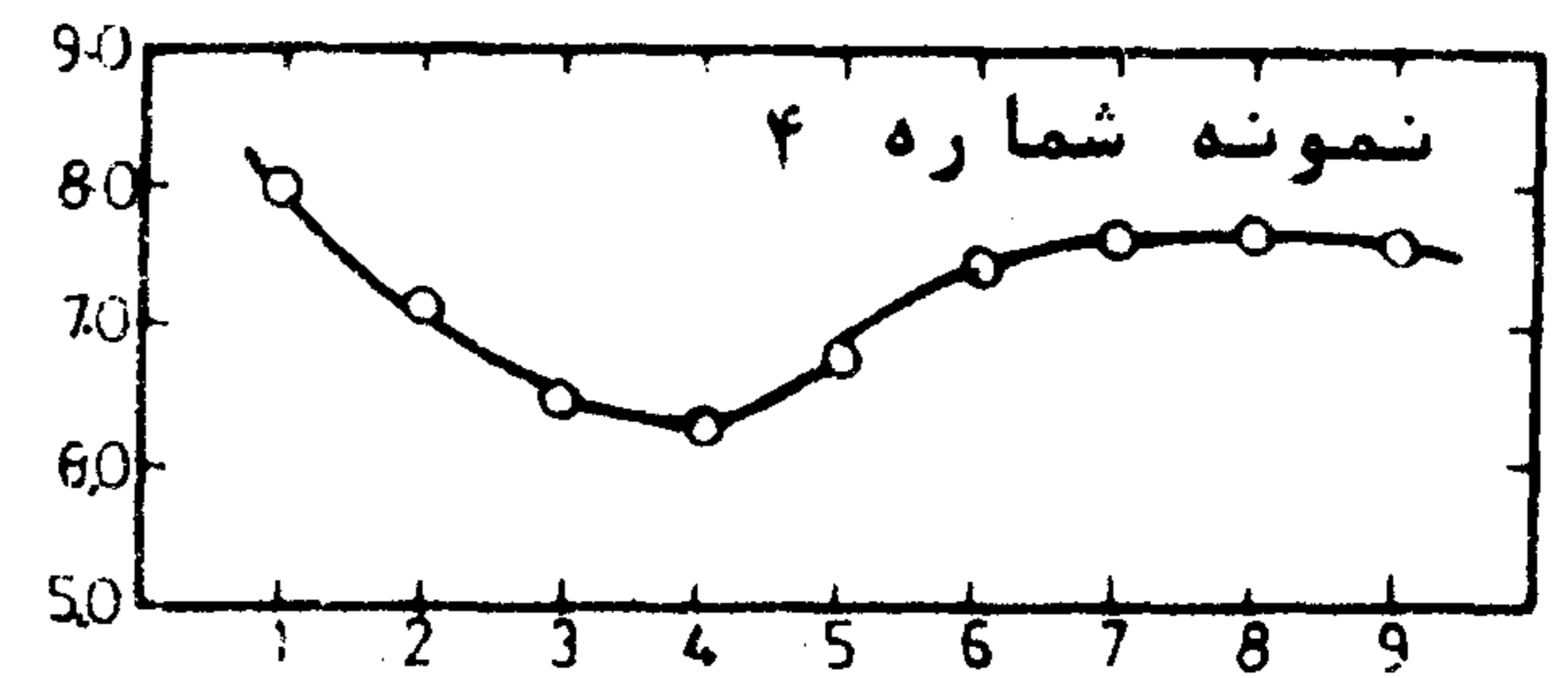
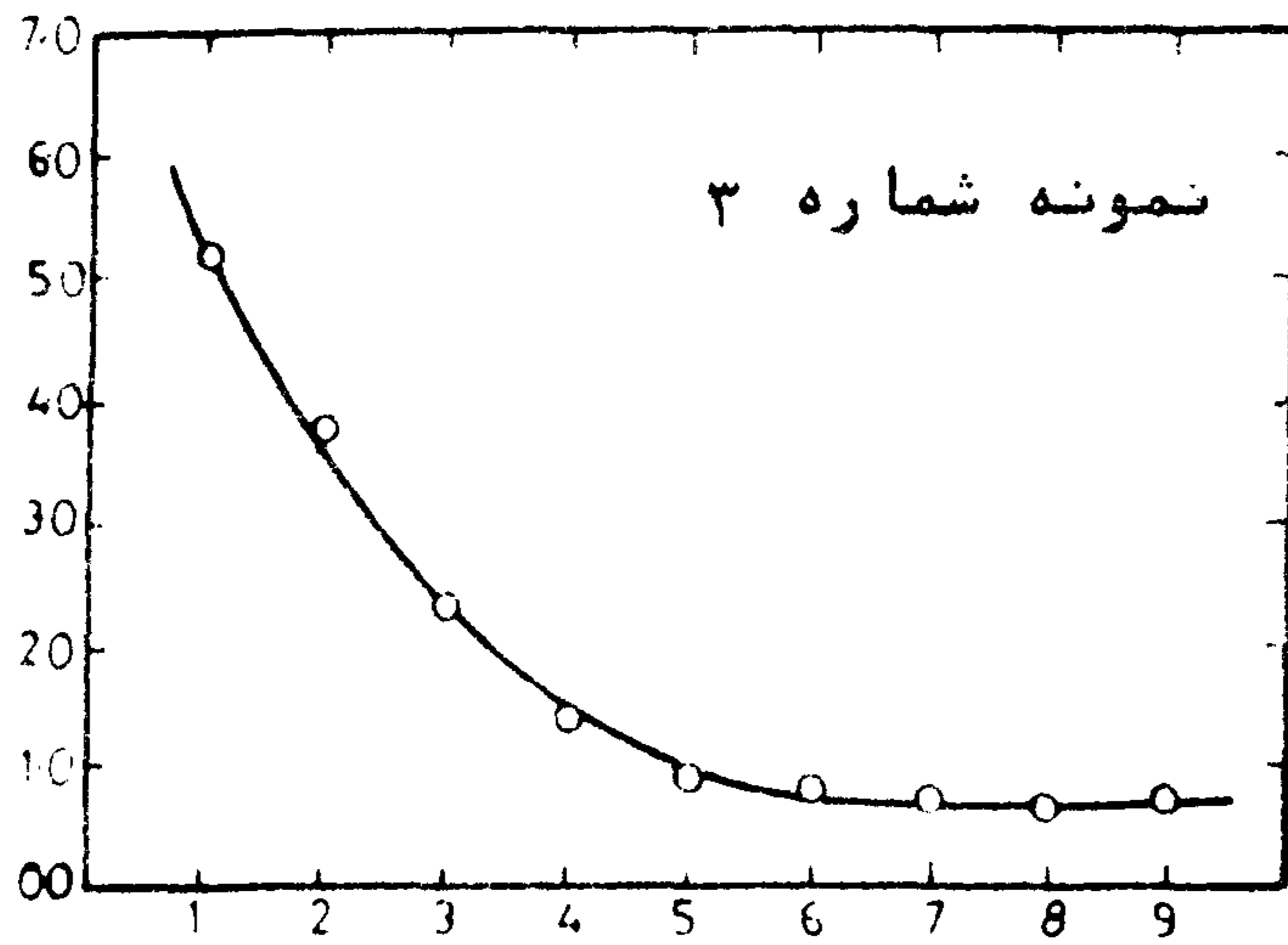
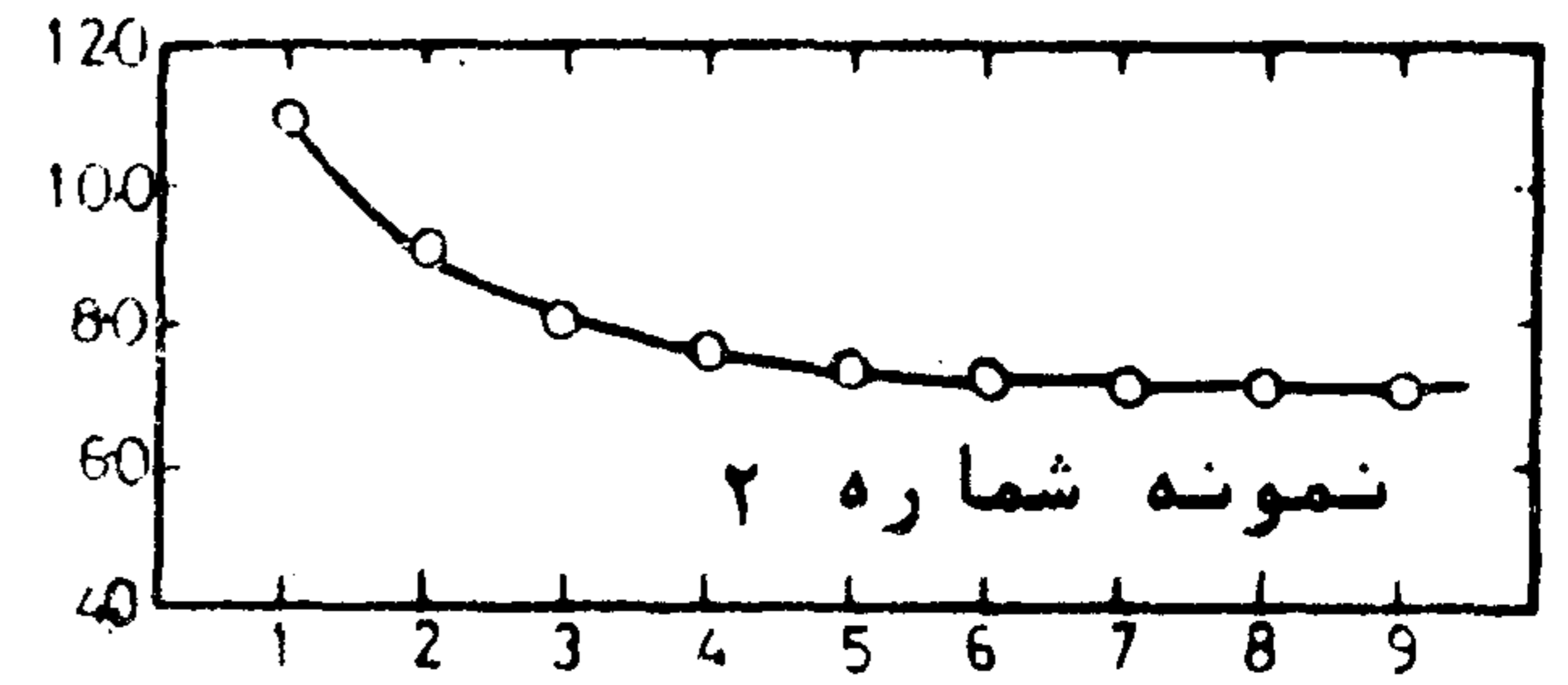
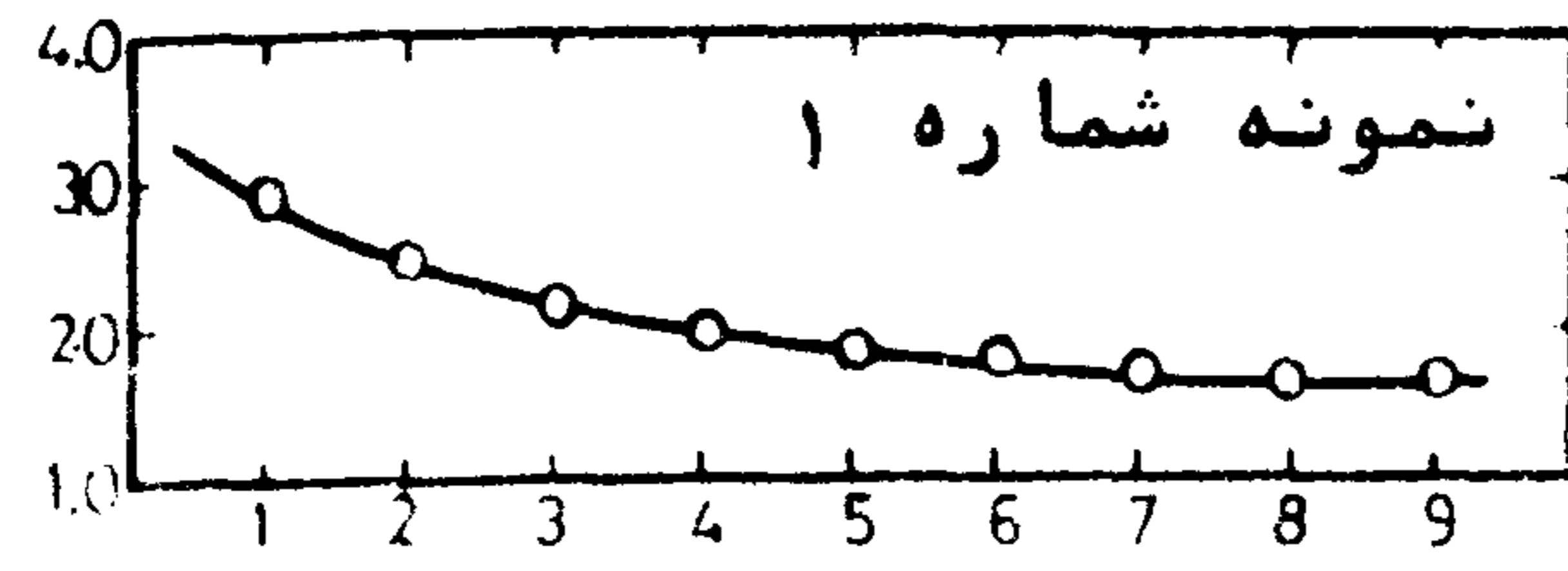
در مقایسه نتایج حاصل از آزمایشهای نفوذپذیری با نتایج حاصل از اندازه‌گیری غیرمستقیم آن از روی آزمایش تحکیم، مقدار متوسط نفوذپذیری در اولین روز اندازه‌گیری مورد استفاده قرار خواهد گرفت. علت این امر، عدم کاهش قابل ملاحظه نسبت تخلخل در روز اول



- نمونه‌های کوچک (۷/۱۶×۳/۴۳)^{cm}
- △ نمونه‌های بزرگ (۱۰/۱۶×۱۱/۴۳)^{cm}

شکل شماره ۱ - تغییرات نفوذپذیری
برحسب زمان برای نمونه‌های
متراکم شده

Permeability $\times 10^9$ cm/sec
Time (Days) زمان (روز)



شکل شماره ۲ - تغییرات نفوذ پذیری بر حسب زمان برای نمونه های دست نخورده

اینکه پیشرفت فرآیند تحکیم در خود نمونه نیز از سطح زهکشی بطرف داخل نمونه است ، بنابراین مقیدار نفوذپذیری در نقاط مختلف نمونه یکسان نمی باشد ، بنابراین مقدار نفوذپذیری با زاء هربارگذاری برابر مقدار متوسط آن در طول زمان بارگذاری و برای کسل نمونه در نظر گرفته می شود .

همچنین لازم به تذکر است که با افزایش مقدار بارگذاری های بعدی ، نسبت تخلخل اولیه خاک ، e_0 و نتیجتاً " k تدریجاً " کوچکتر و کوچکتر می شود ، لذا در هر دور بارگذاری ، مقدار k متوسط برای آن روز ، و با زاء متوسط مقدار e ، تعیین وجهت مقایسه بکار برده خواهد شد .

تحلیل زیر چگونگی روابطی را که بین مقیدار نفوذپذیری و فشار تحکیم موجود است ، نشان خواهد داد .

طبق نظریه تحکیم یک بعدی تریزاقی ؛

$$k = \frac{a_v \cdot c_v \cdot \gamma_w}{1 + e_0} \quad (1)$$

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta P} \quad (2)$$

همچنین ثابت شده که تغییرات نسبت تخلخل بر حسب لگاریتم فشار تحکیم برای رسهایی که بطور نرمال تحکیم یافته اند ، بصورت خط مستقیمی است که شیب آن C_c نمایش دهنده میزان تراکم پذیری خاک بوده و بنام اندیس فشردگی نامیده می شود . طبق ایسن

تعریف :

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta(\log P)} \quad (3)$$

از تلفیق روابط (۱) ، (۲) و (۳) ، رابطه زیر نتیجه می شود :

$$\log k = \log \left(\frac{0.435 C_c \cdot c_v \cdot \gamma_w}{1 + e_0} \right) - \log P \quad (4)$$

چنانچه C_c و c_v ثابت فرض کردند :

و نزدیکی آن با نسبت تخلخل اولیه خاک می باشد .
 ب- نتایج آزمایش غیر مستقیم نفوذپذیری (تحکیم) :
 در این بخش از تحقیق ، با استفاده از نتایج حاصل از آزمایشات تحکیم انجام شده بر روی نمونه های مختلف ، ضریب نفوذپذیری بطور غیر مستقیم محاسبه گردیده است . در هر آزمایش تحکیم ، چهار تاپنج سیکل بارگذاری انجام شده و منحنی تغییرات نشست نمونه بر حسب زمان ترسیم و ضریب نفوذپذیری با استفاده از

رابطه زیر محاسبه گردید :

$$k = \frac{a_v \cdot c_v \cdot \gamma_w}{1 + e_0}$$

که در آن ، $a_v = \frac{e_0 + e_{100}}{\Delta P}$ ضریب فشردگی خاک بر حسب سانتی متر مربع بر گرم ، e_{100} نسبت تخلخل خاک پس از ۱۰۰٪ تحکیم اولیه ، ΔP افزایش بار بر

حسب گرم بر سانتی متر مربع ، $c_v = \frac{TH^2}{t}$ ضریب تحکیم بر حسب سانتی متر مربع بر ثانیه ، t زمان

لازم برای رسیدن به درصد معینی از تحکیم اولیه بر حسب ثانیه ، T فاکتور ثابت زمان برای درصد تحکیم مورد نظر و H نصف ضخامت نمونه خاک بر حسب سانتی متر (برای نمونه هایی که از دو طرف زهکش می شوند) می باشد .

مقدار ضریب تحکیم C_c با دو روش متداول ، یعنی روش جذر زمان تیلور (۱۲) و روش لگاریتم زمان کاساگرانده تعیین شده است . بر همین اساس ضریب نفوذپذیری نیز با هر دو روش مذکور محاسبه گردیده است .

از آنجا که نسبت تخلخل خاک در یک آزمایش به محض اعمال بار شروع به کاهش یافتن می کند و این کاهش در تمام مدت آزمایش ادامه دارد ، لذا نفوذپذیری نمونه در طول آزمایش ثابت نخواهد بود . حتی به علت

کمتر از نفوذپذیری متناظر بانسبت تخلخل اولیه باشد. چنانچه فرض شود نمونه خاک داخل پرما متر در طی آزمایش تعیین نفوذپذیری بطریق مستقیم کاهش حجم پیدا نمی نماید، نفوذپذیری متوسط نمونه در این روش متناظر بانسبت تخلخل اولیه آن خواهد بود، ولذا نفوذپذیری اندازه گیری شده باید بیشتر از نفوذپذیری متوسط بدست آمده از آزمایش تحکیم روی نمونه مشابه باشد. در تمام نمونه های مورد آزمایش، این تفاوت مشاهده گردید، یعنی ضریب نفوذپذیری نمونه هایی که بدوا " دارای درجه تراکم و نسبت تخلخل یکسان بودند و تحت شرایط یکسانی آزمایش گردیدند، در روش مستقیم بیشتر از روش غیر مستقیم بود؛ بنابراین نتایج دو روش تنها وقتی قابل مقایسه هستند که متوسط نسبت تخلخل نمونه ها در طی هر دو آزمایش در نظر گرفته شود.

بسیاری از محققین نشان داده اند که تغییرات لگاریتم نفوذپذیری در مقابل نسبت تخلخل بصورت یک خط مستقیم است (۴ و ۹). این امر را می توان به شیوه تحلیلی نیز بشرح زیر اثبات نمود:

$$\log P = \frac{e}{C_c} + C' \quad (7)$$

که در آن C' مقدار ثابت انتگرال گیری است چنانچه این مقدار در رابطه ۵ قرار داده شود:

$$\log k = C + \frac{C'}{C_c} - C'$$

که شکل عمومی آن بصورت زیر خواهد بود:

$$\log k = a'e + b' \quad (8)$$

معادله (۸)، رابطه خطی بین $\log k$ و e را نشان می دهد که بانتهای حاصل از آزمایشات انجام شده مطابقت دارد، بنابراین چنانچه تغییرات مقدار k بدست آمده از آزمایشات تحکیم بر

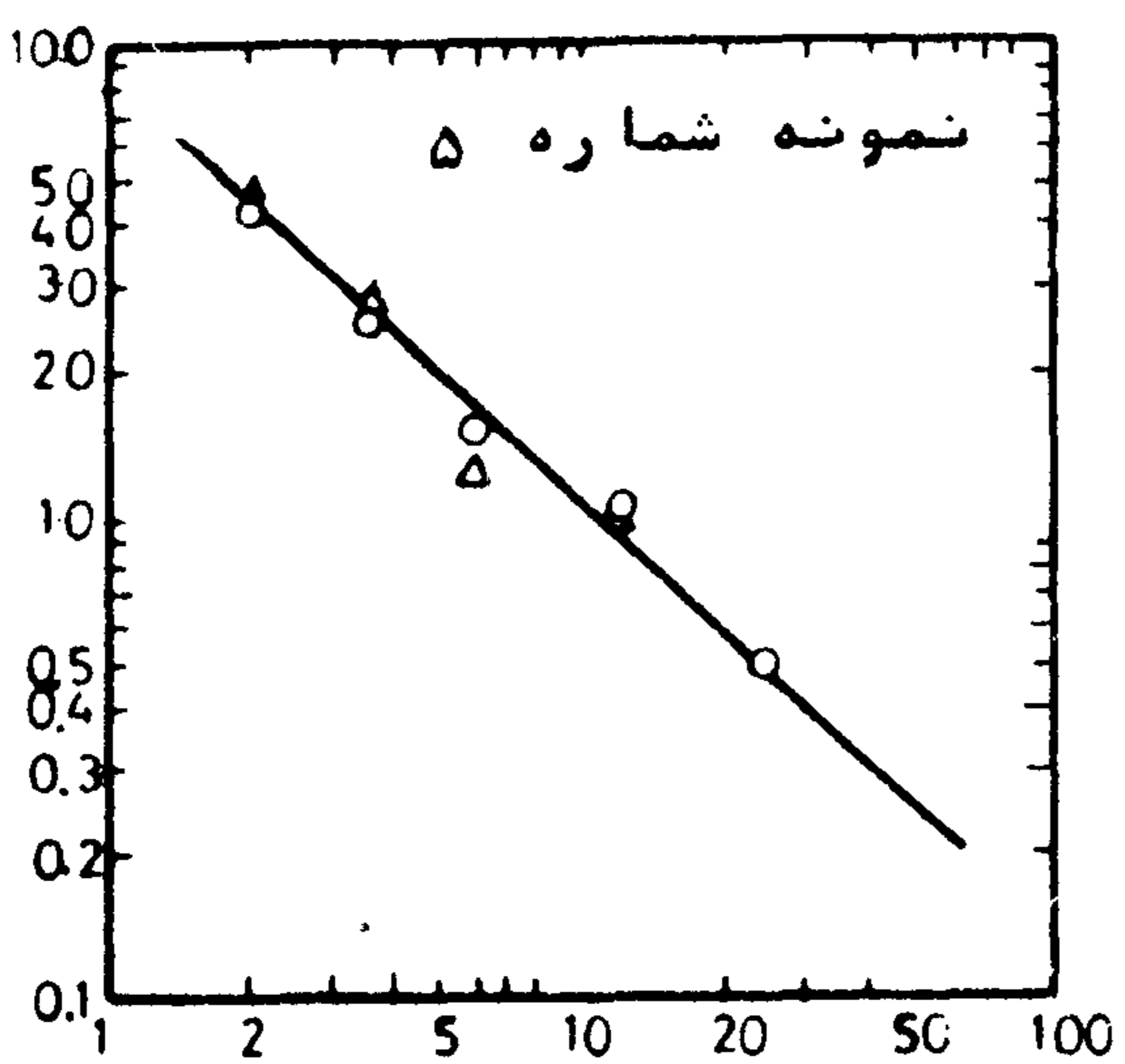
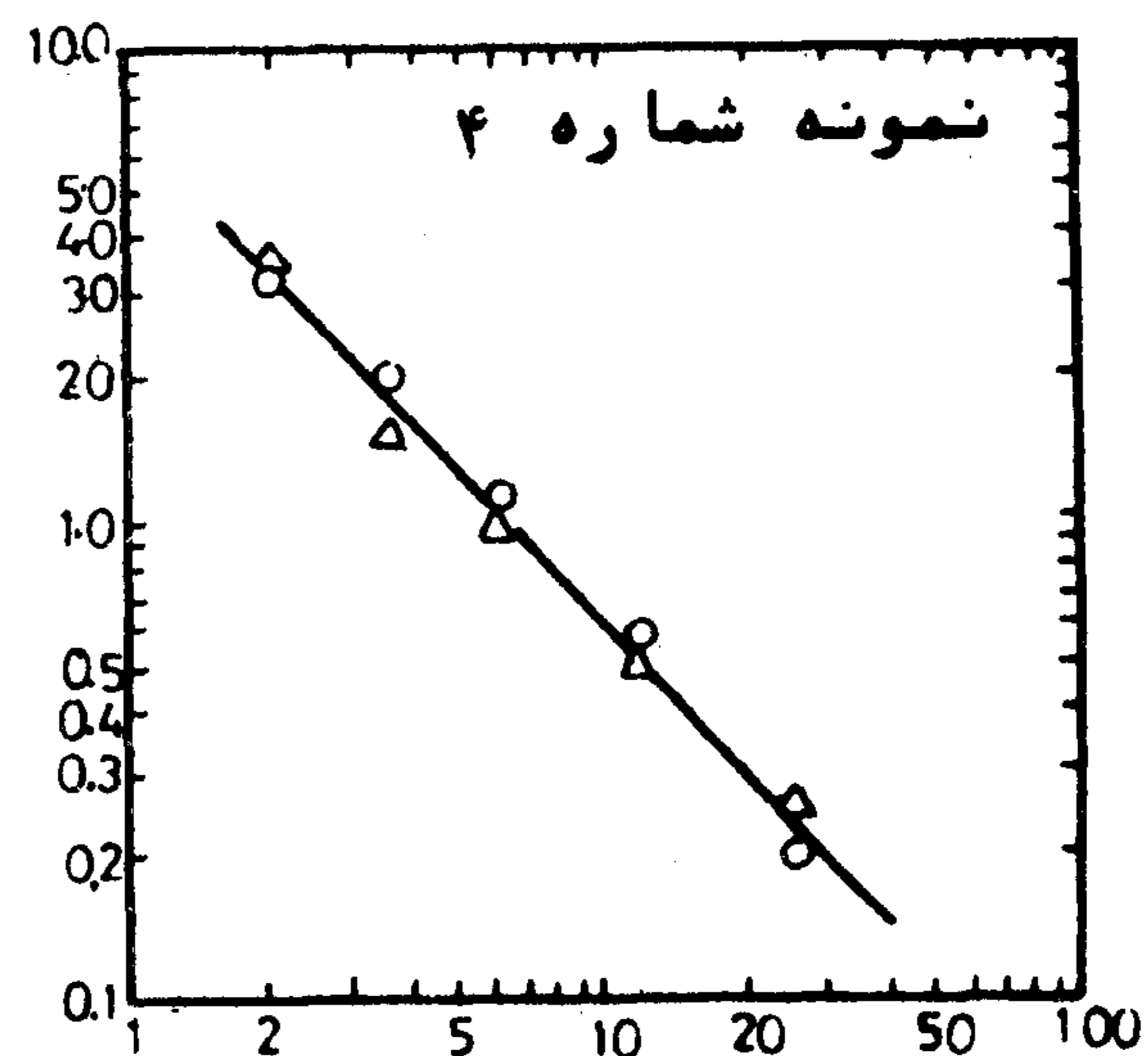
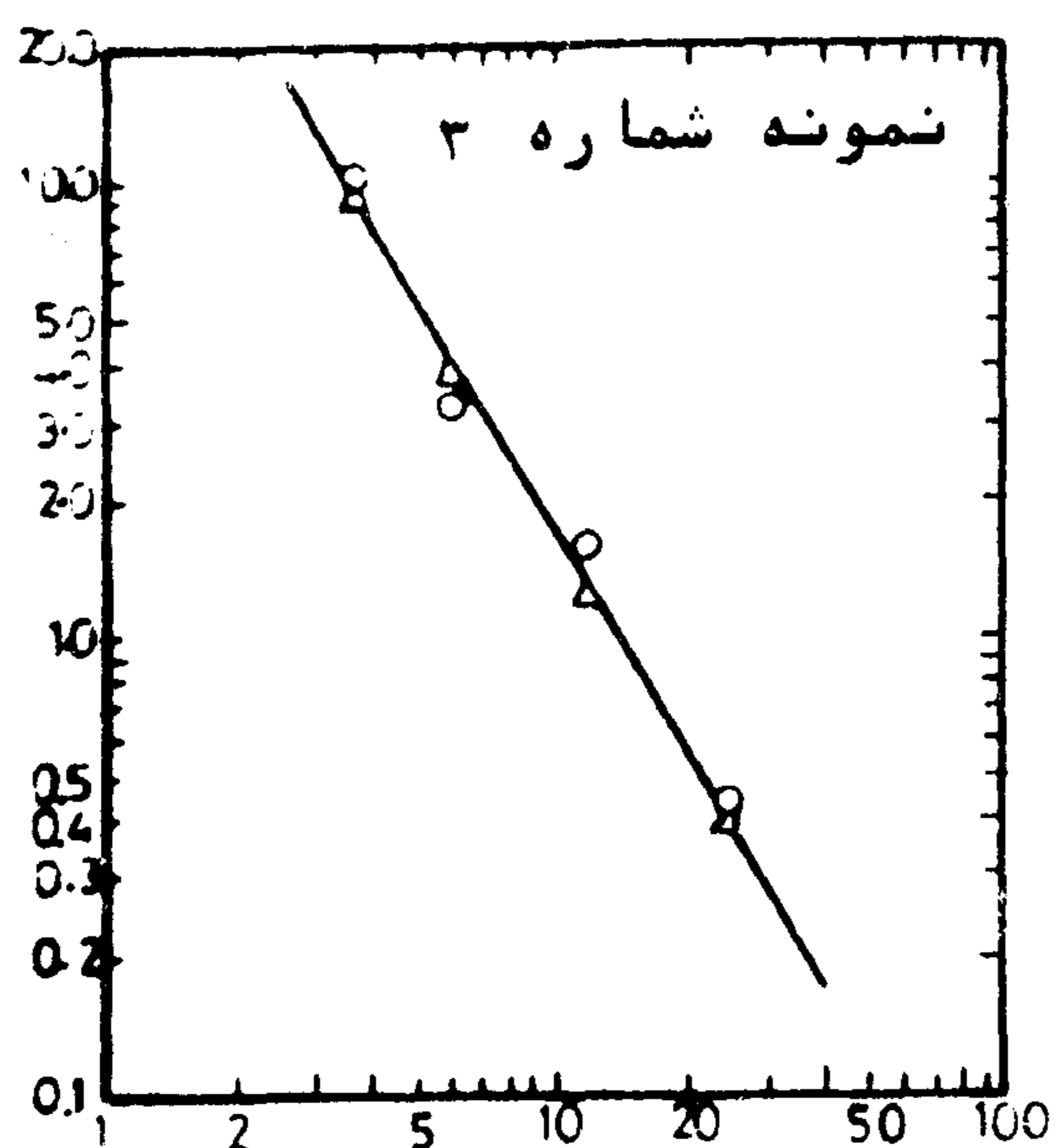
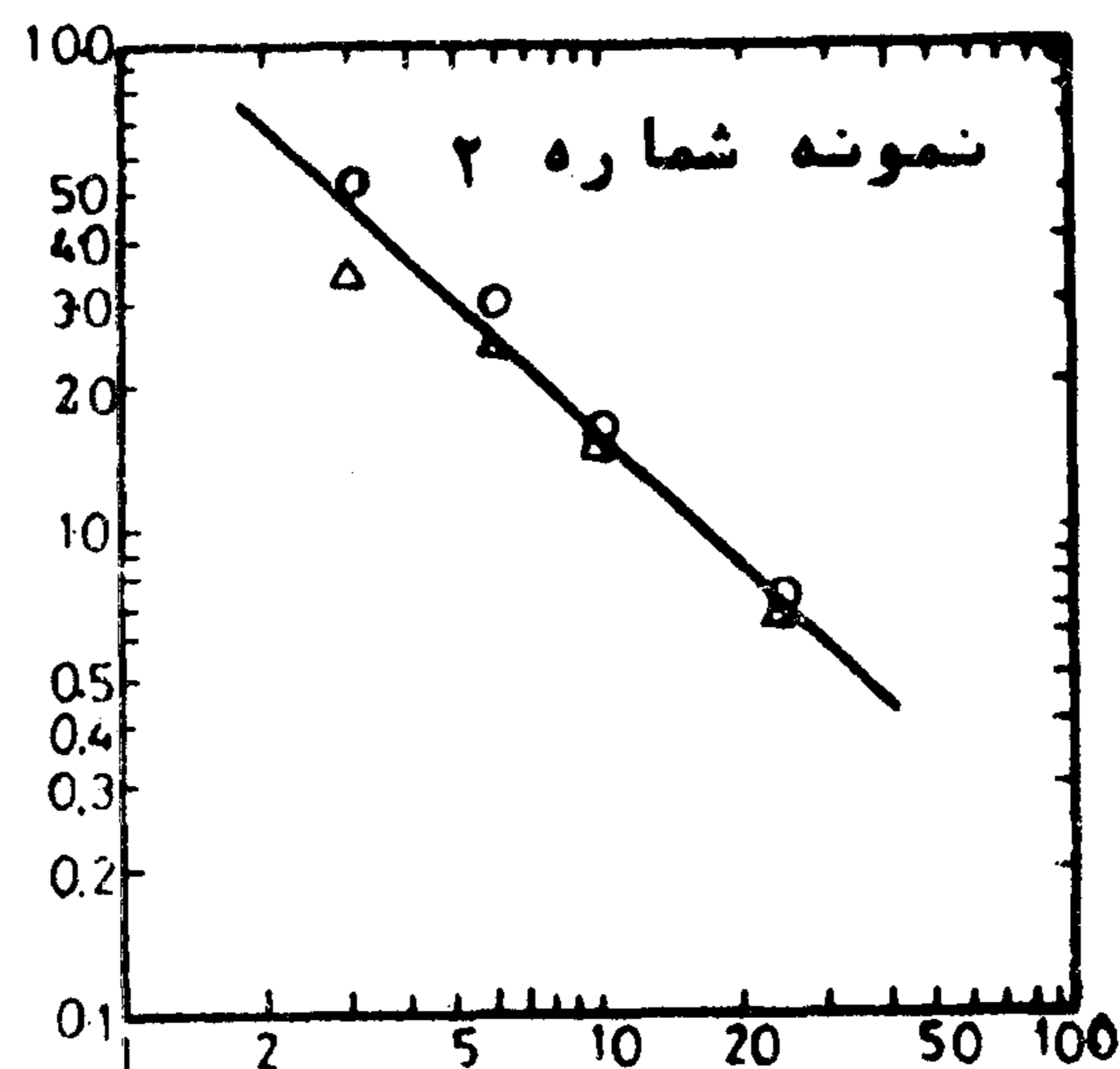
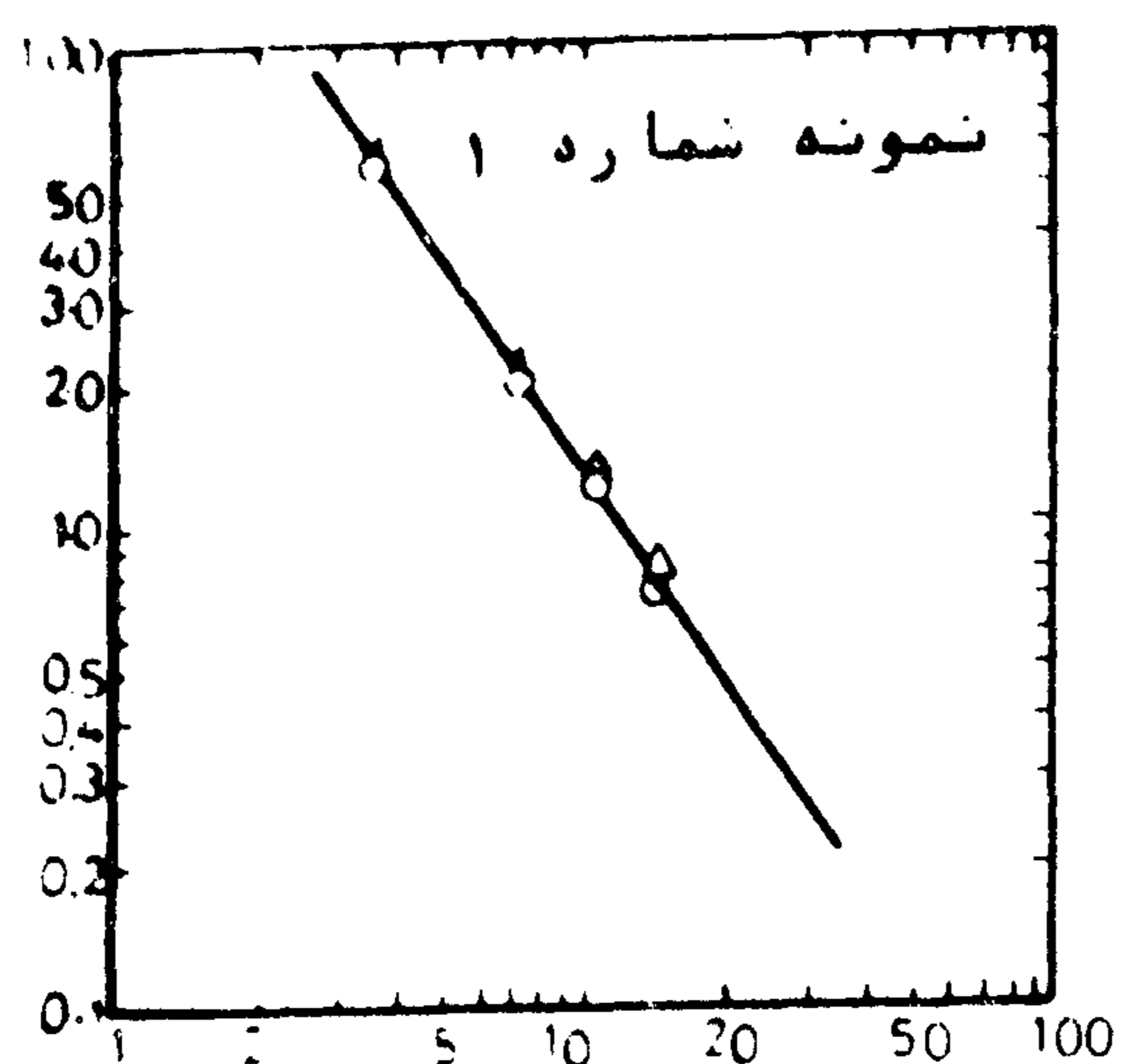
$$\log k = C - \log P \quad (5)$$

رابطه (۵) نشان می دهد که بین $\log k$ و $\log P$ یک رابطه خطی وجود دارد. به همین دلیل تغییرات مقادیر نفوذپذیری حاصل از آزمایش تحکیم در مقابل فشار تحکیم روی یک سیستم محورهای مختصات تمام لگاریتمی ترسیم شده است. شکل های ۳ و ۴ نتایج این ترسیم را برترتیب برای نمونه های متراکم شده و دست نخورده نشان می دهند. بررسی این اشکال، صحت تحلیل فوق را ثابت نموده، رابطه کلی زیر را برای بیان تغییرات k بر حسب P بدست می دهد.

$$\log k = b - a \log P \quad (6)$$

که در آن، a و b برای یک خاک معین ضرائب ثابتی بوده و تابع خصوصیات فیزیکی آن می باشند. ج - مقایسه نتایج دو روش:

برای آنکه بتوان نتایج دوسری آزمایش را مقایسه نمود، لازم است سایر عوامل موثر در مقدار نفوذپذیری در هر دو روش یکسان باشند، زیرا در غیر این صورت مقایسه نتایج بی معنی خواهد بود. در این تحقیق، تمام نمونه ها تحت شرایط یکسان (با استفاده از منابع آب و خاک یکسان) ساخته شده و تحت شرایط محیطی مشابه با دو روش مختلف آزمایش شده اند، و بنابراین باید ظاهرا " بایکدیگر قابل مقایسه باشند، مع هذا باید یک نکته مهم را در رابطه با روش غیر مستقیم اندازه گیری در نظر داشت. همانطور که قبلا " نیز اشاره شد، هنگامی که در آزمایش تحکیم نمونه خاک تحت بار قرار می گیرد، نسبت تخلخل آن شروع به کاهش نموده، و نتیجتا " نفوذ پذیری خاک نیز کاهش می یابد. بنابراین، مقدار متوسط نسبت تخلخل خاک در طی آزمایش تحکیم، کمتر از مقدار نسبت تخلخل اولیه بوده، و لذا نفوذپذیری متوسط آن نیز باید



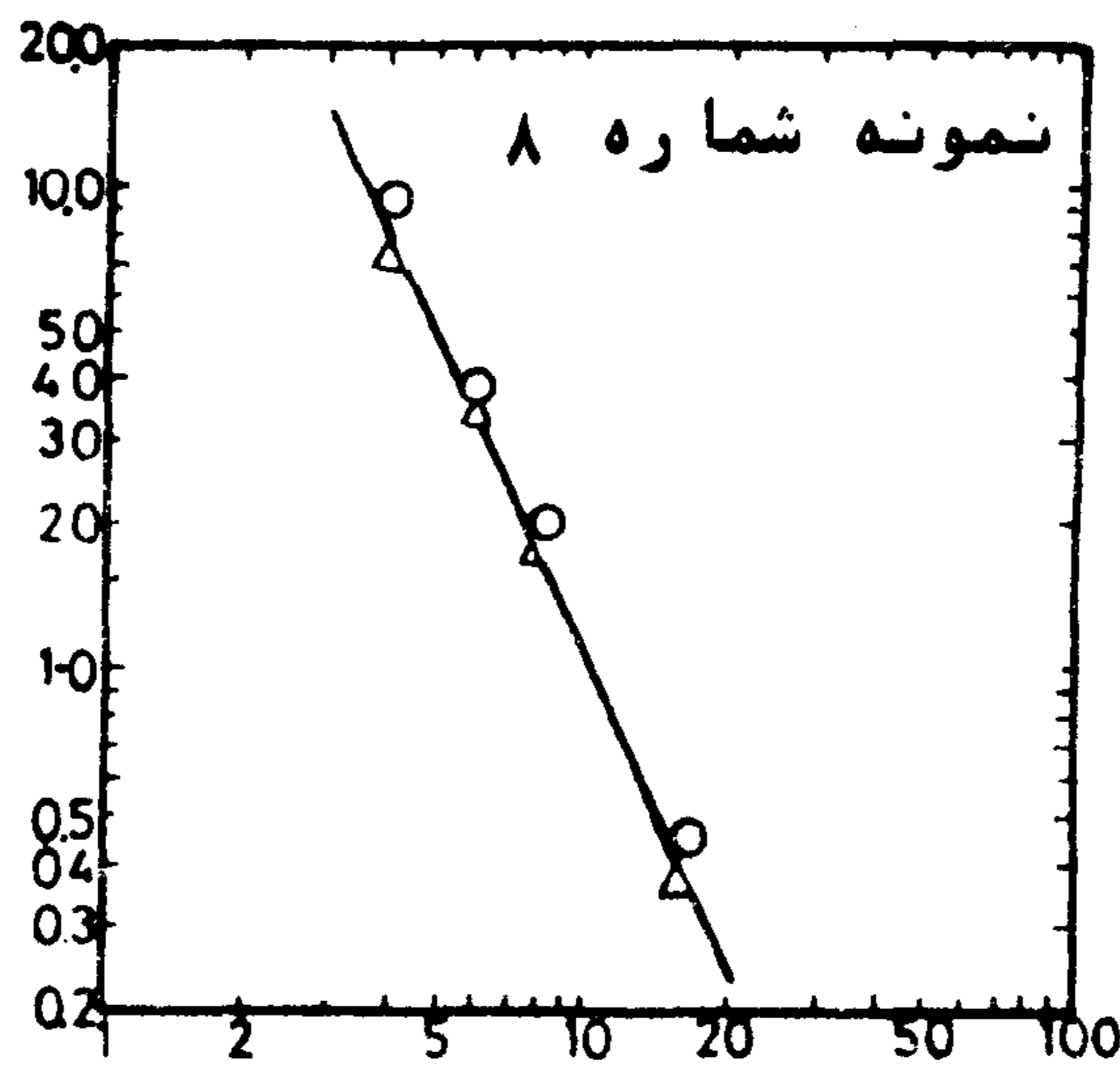
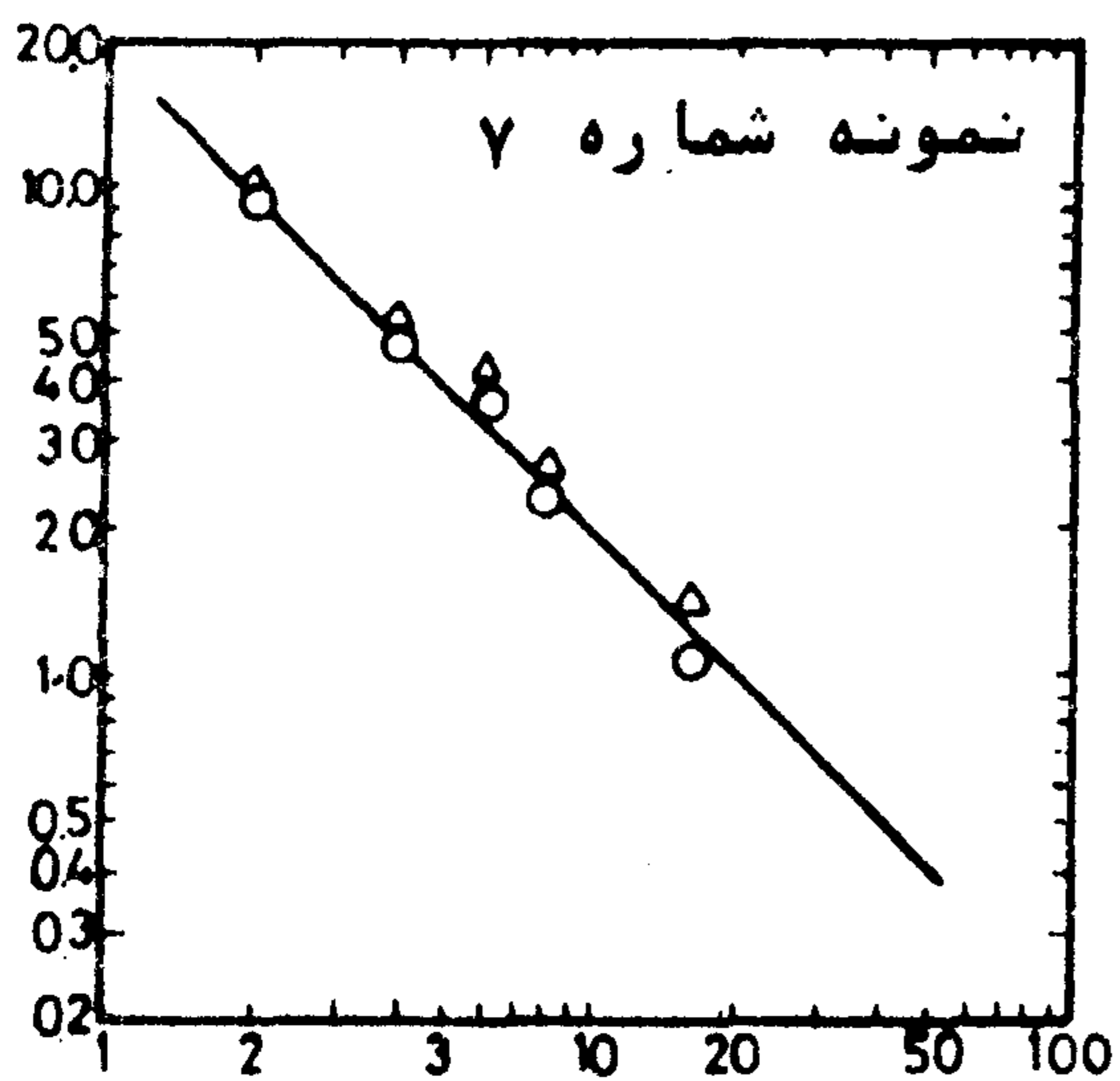
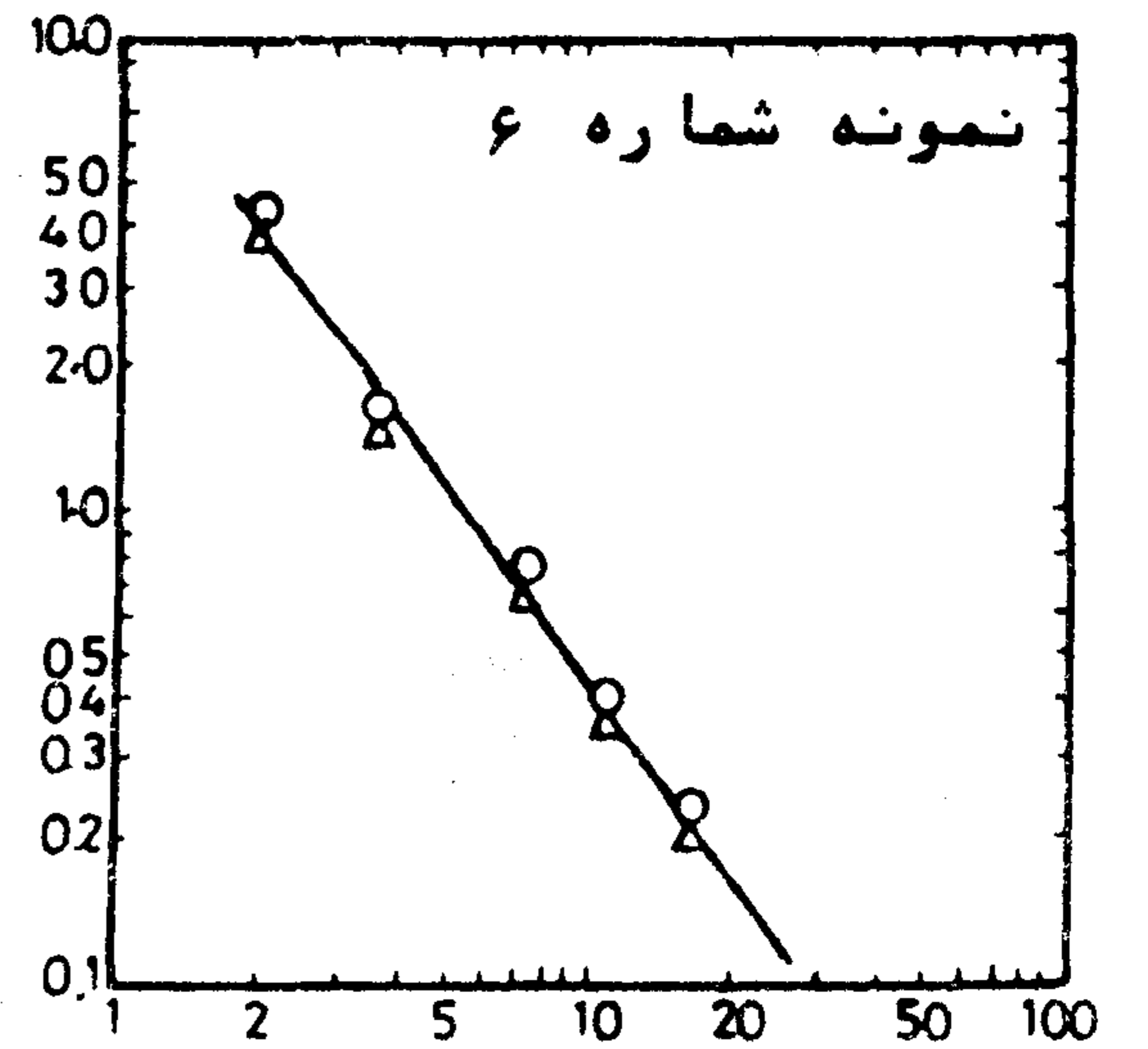
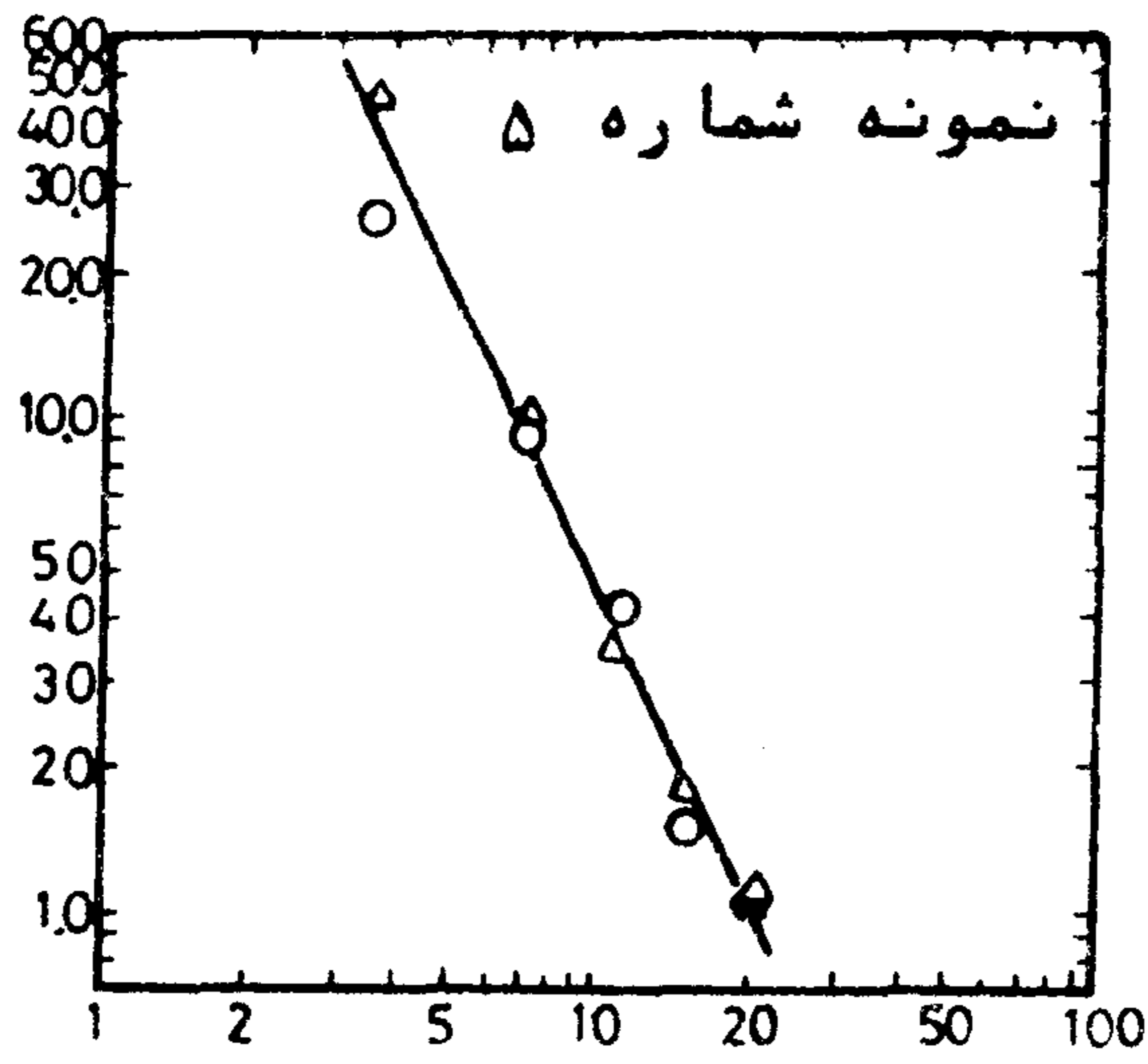
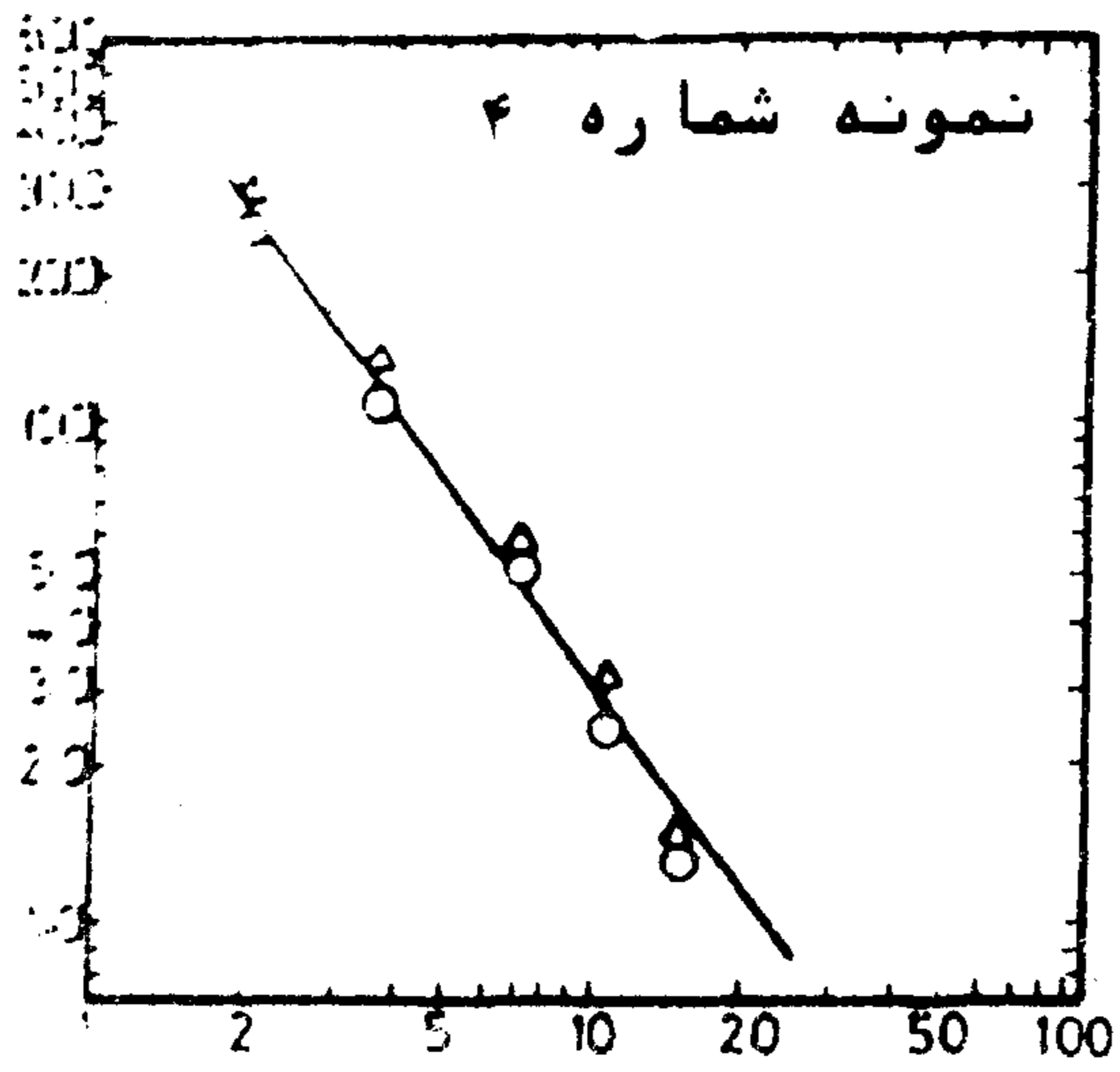
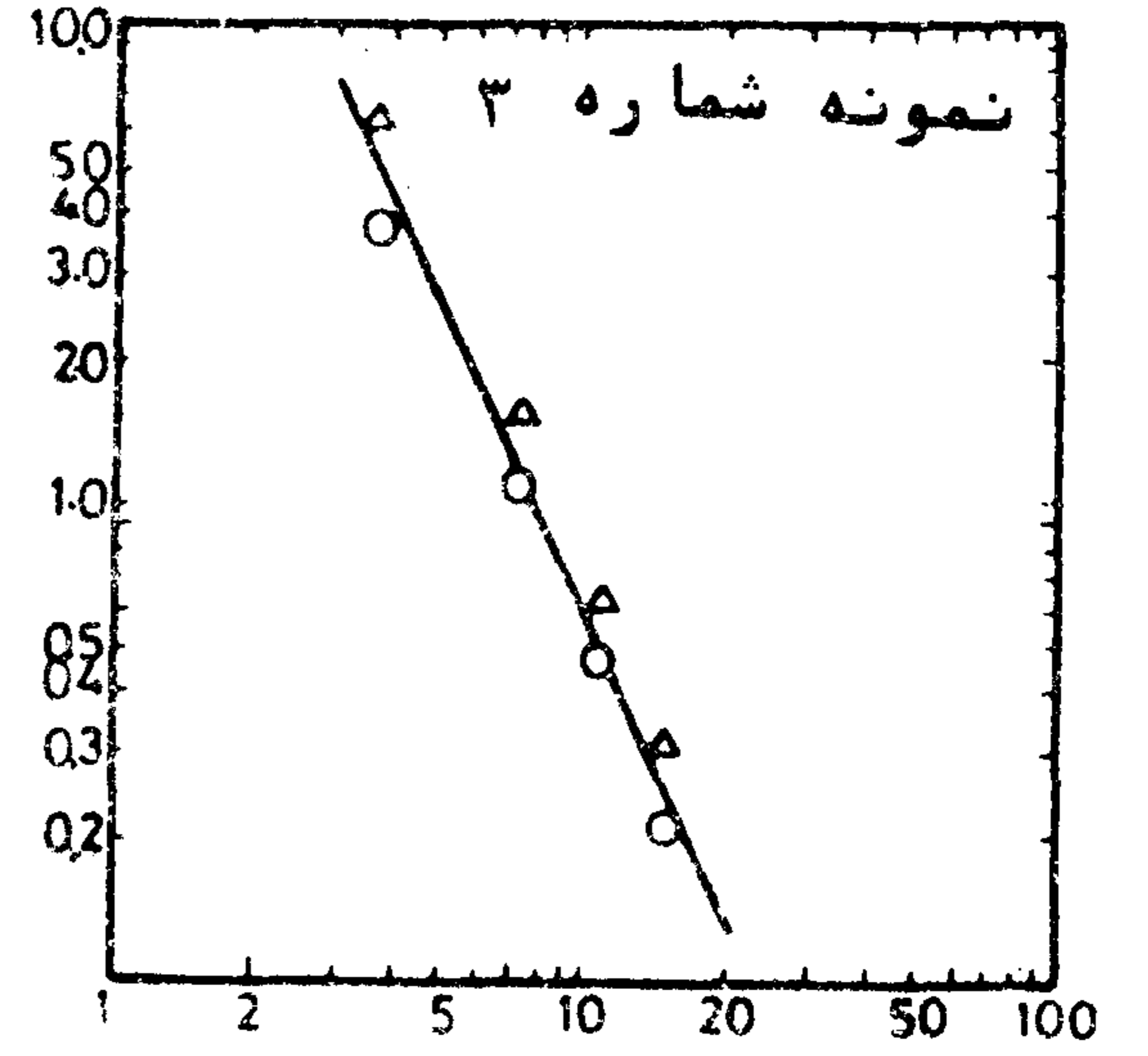
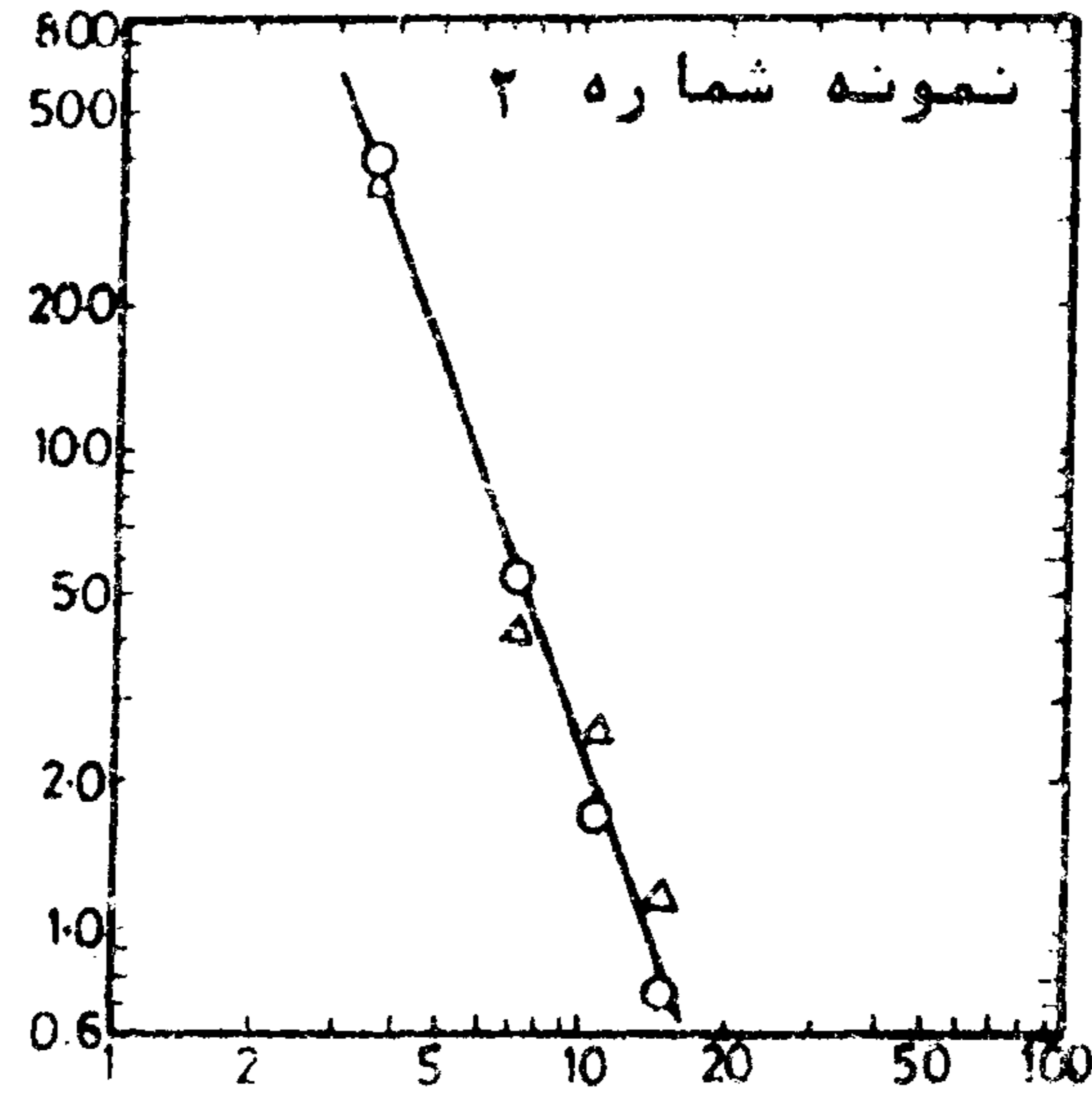
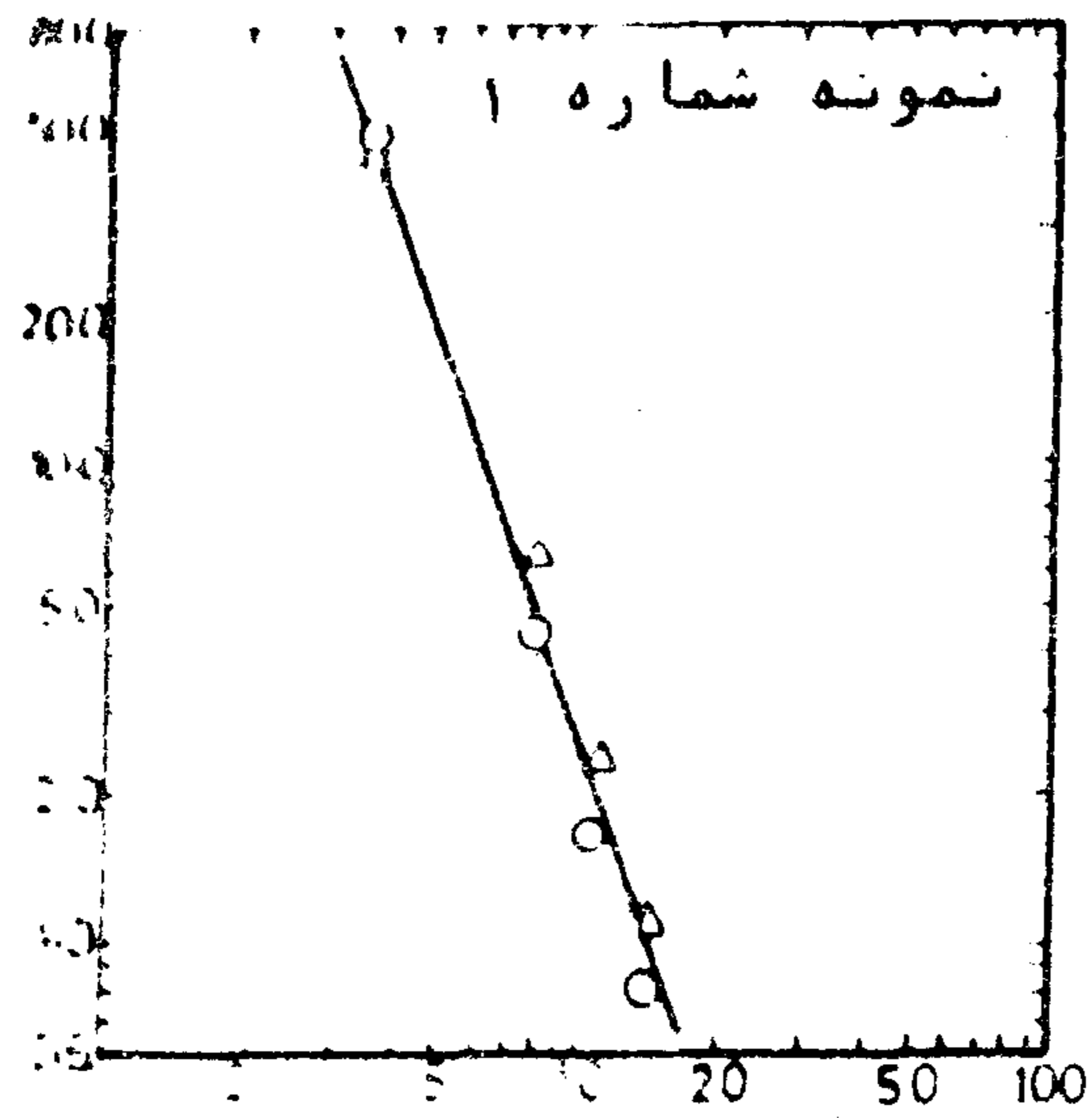
شکل شماره ۳- تغییرات نفوذ پذیری بر حسب فشار تحکیم برای نمونه های متراکم شده

روش $\Delta \sqrt{t}$

روش $\log t$

Permeability $k \times 10^9$ cm/sec
نفوذ پذیری

فشار تحکیم (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)
Consolidation pressure



شکل شماره ۴- تغییرات نفوذ پذیری بر حسب فشار تحکیم برای نمونه های دست نخورده

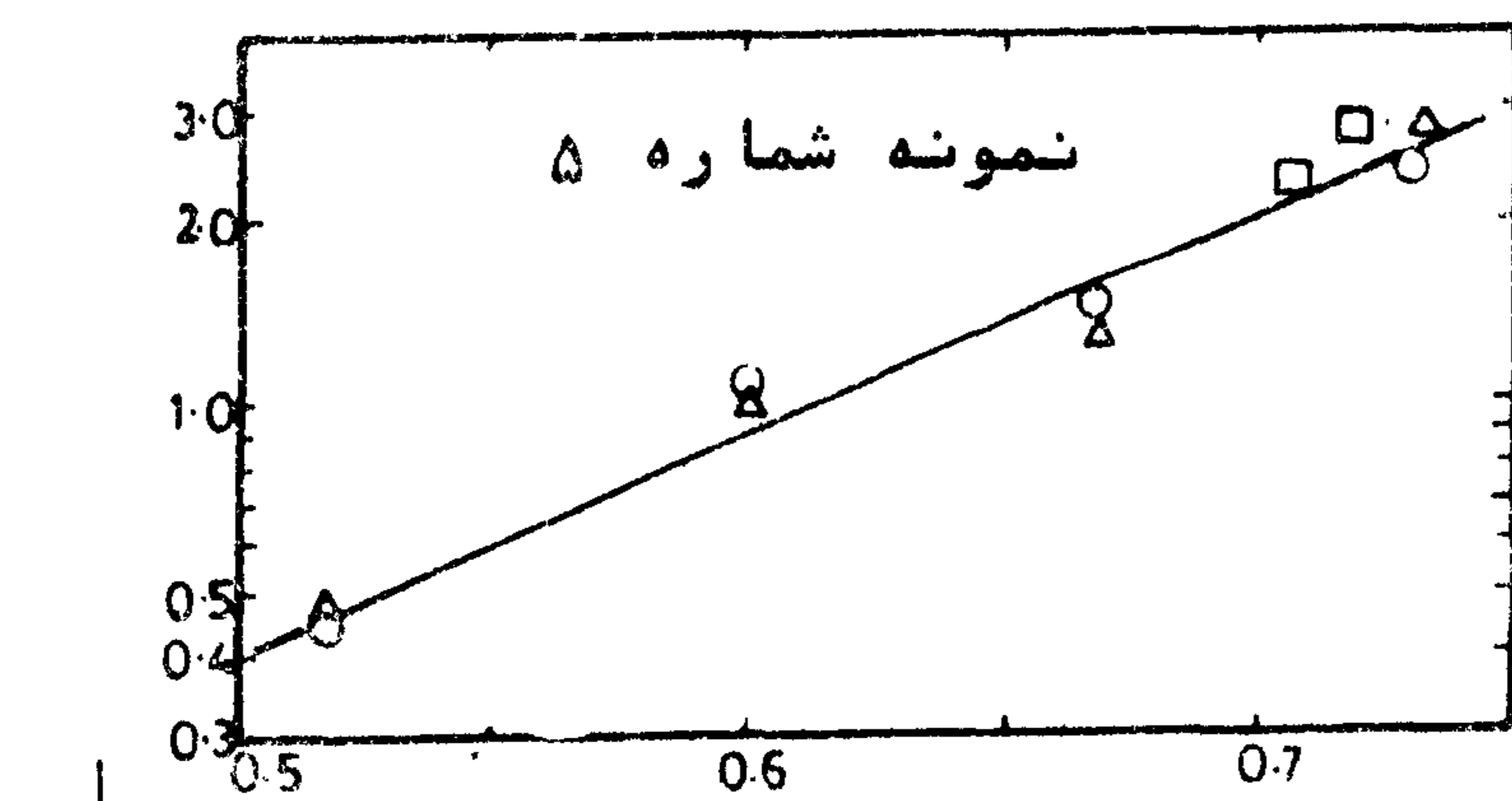
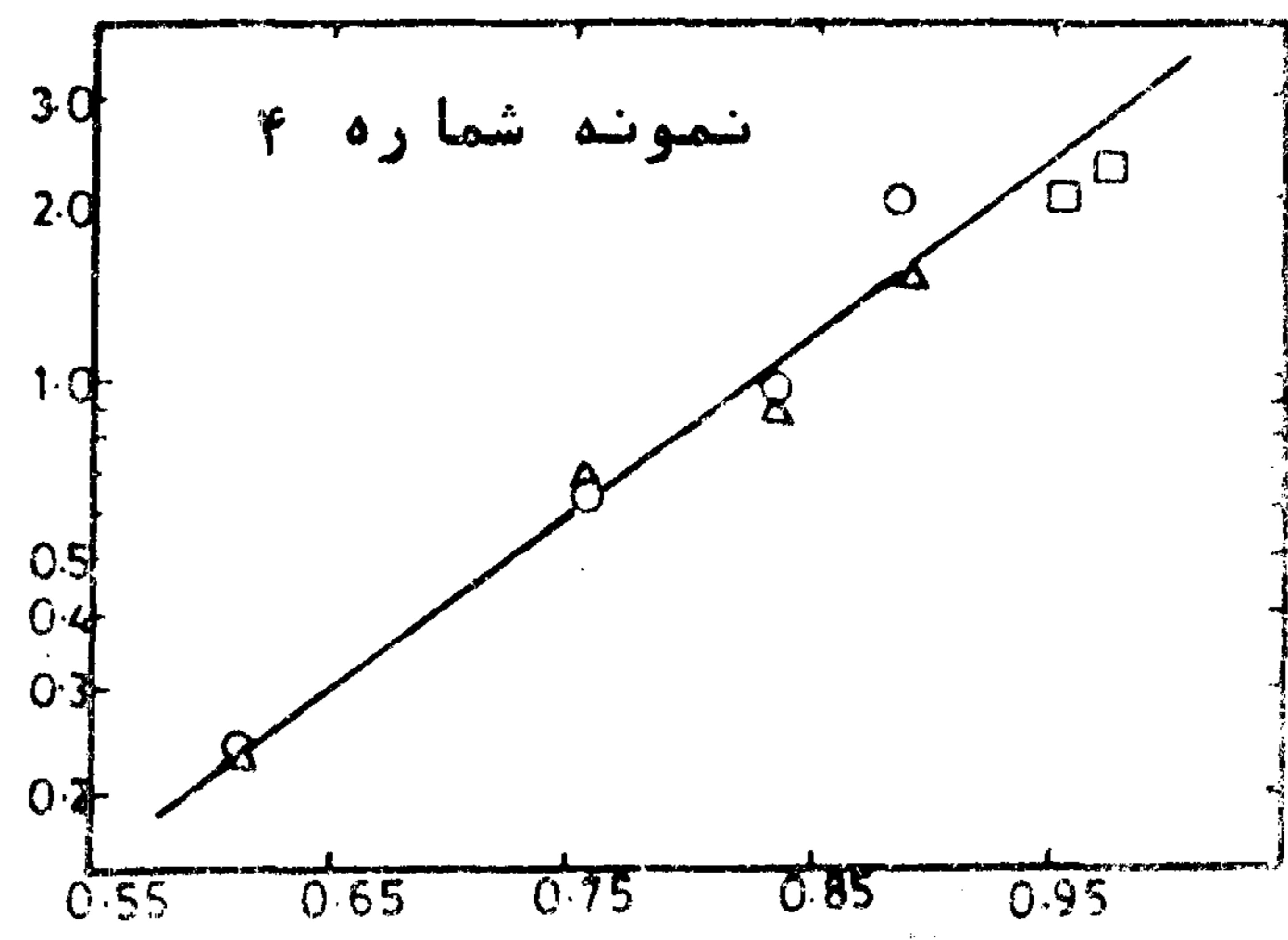
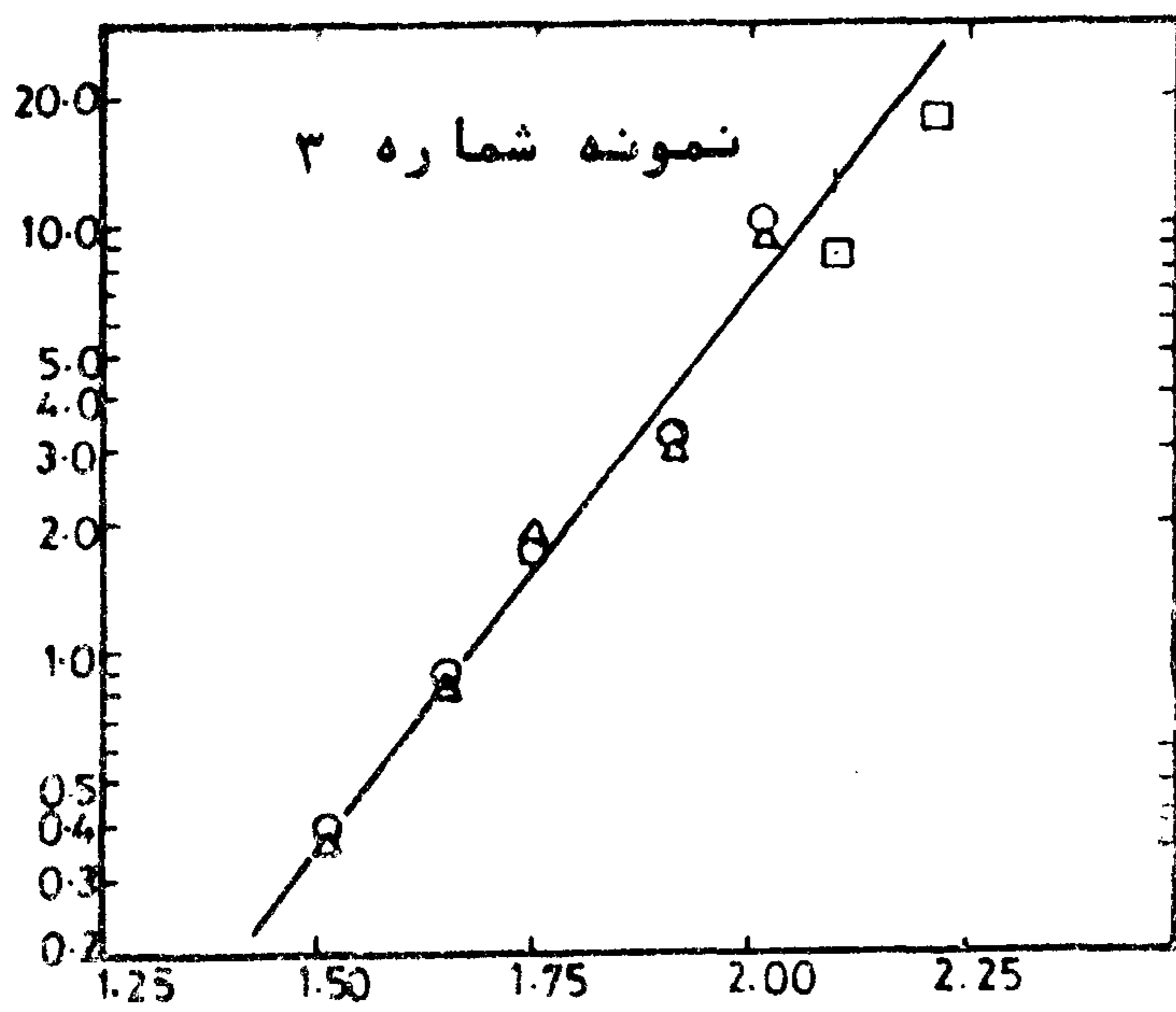
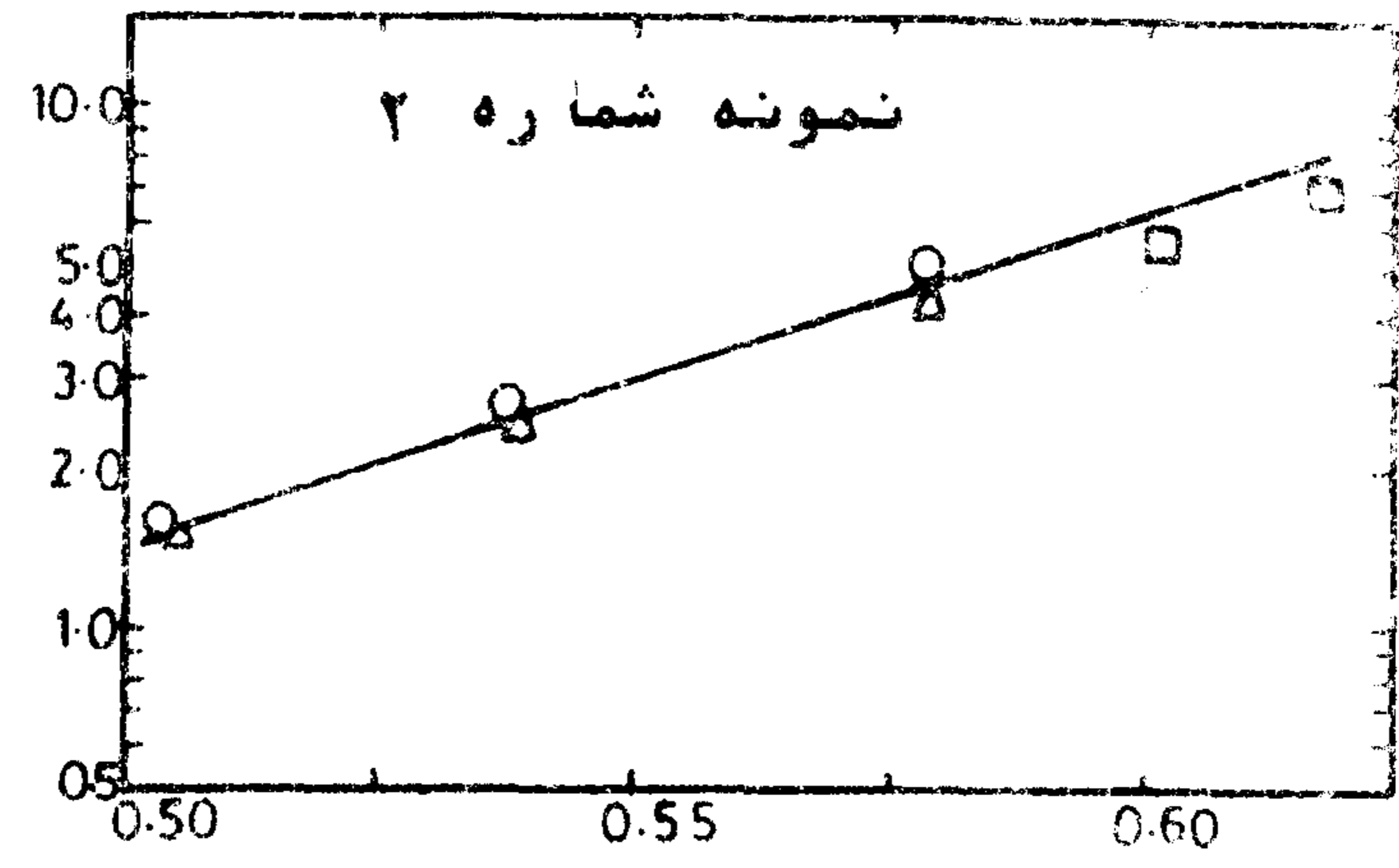
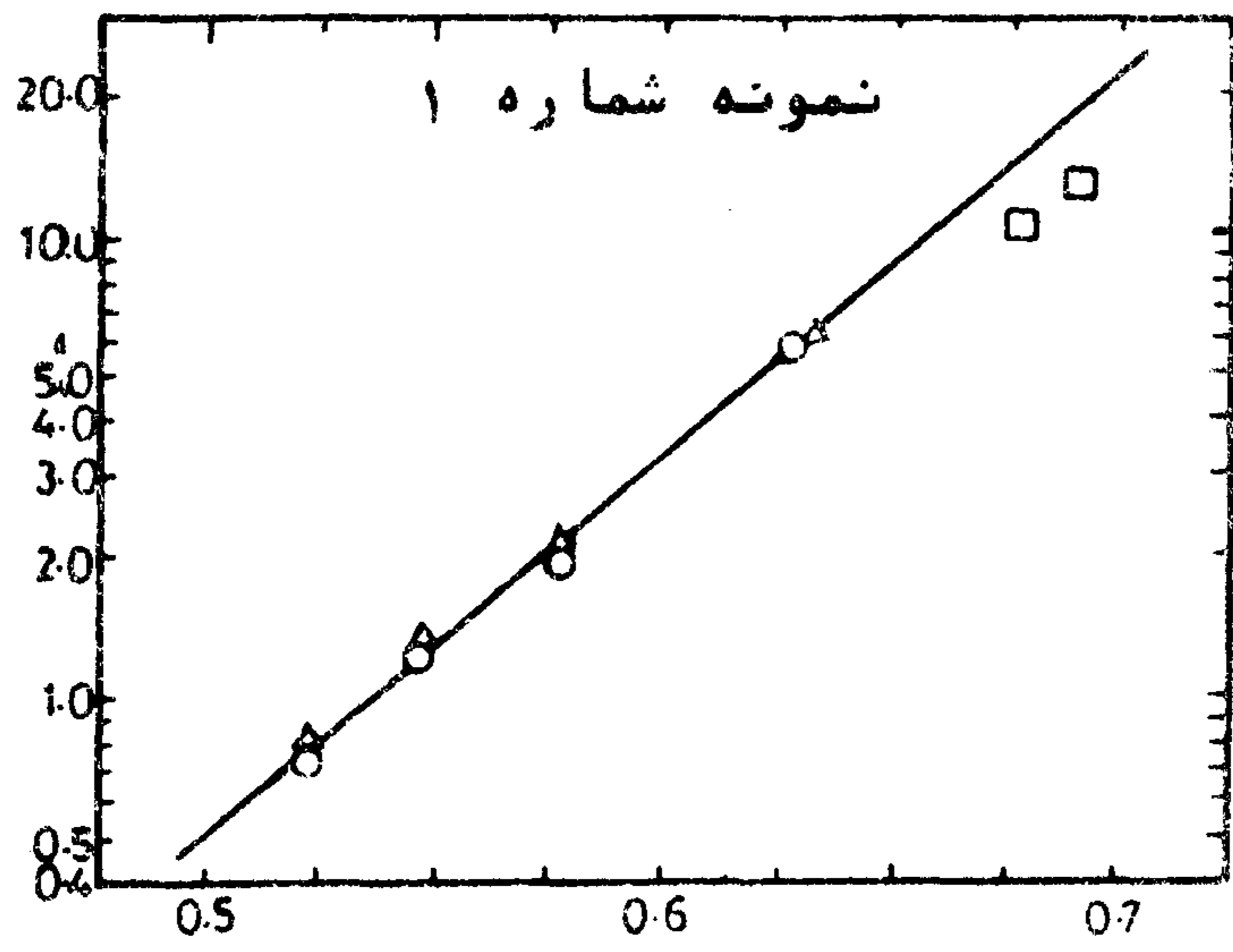
روش $\Delta \sqrt{t}$

روش $\log t$

نفوذ پذیری $k \times 10 \text{ cm/sec}$

فشار تحکیم (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)

Consolidation Pressure



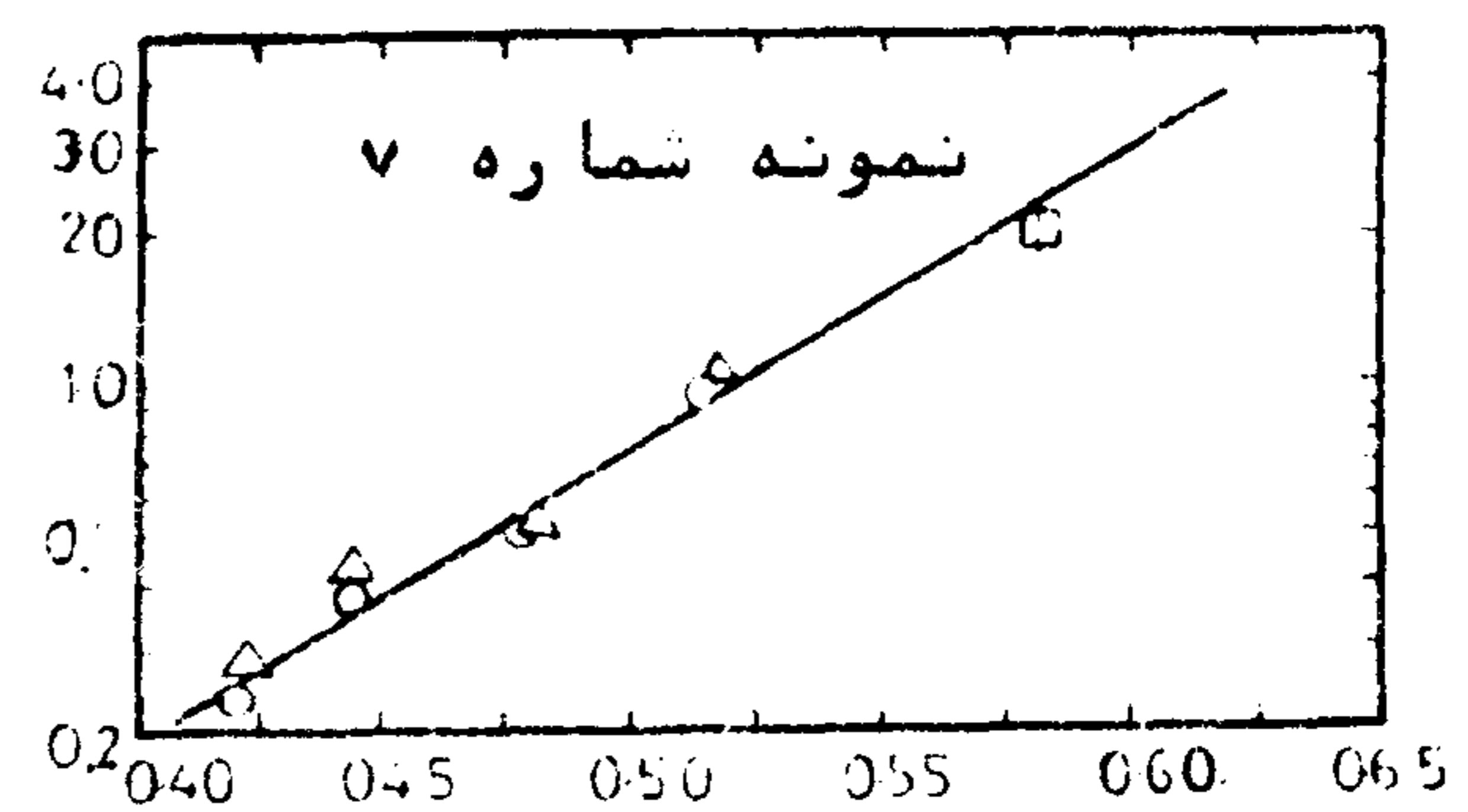
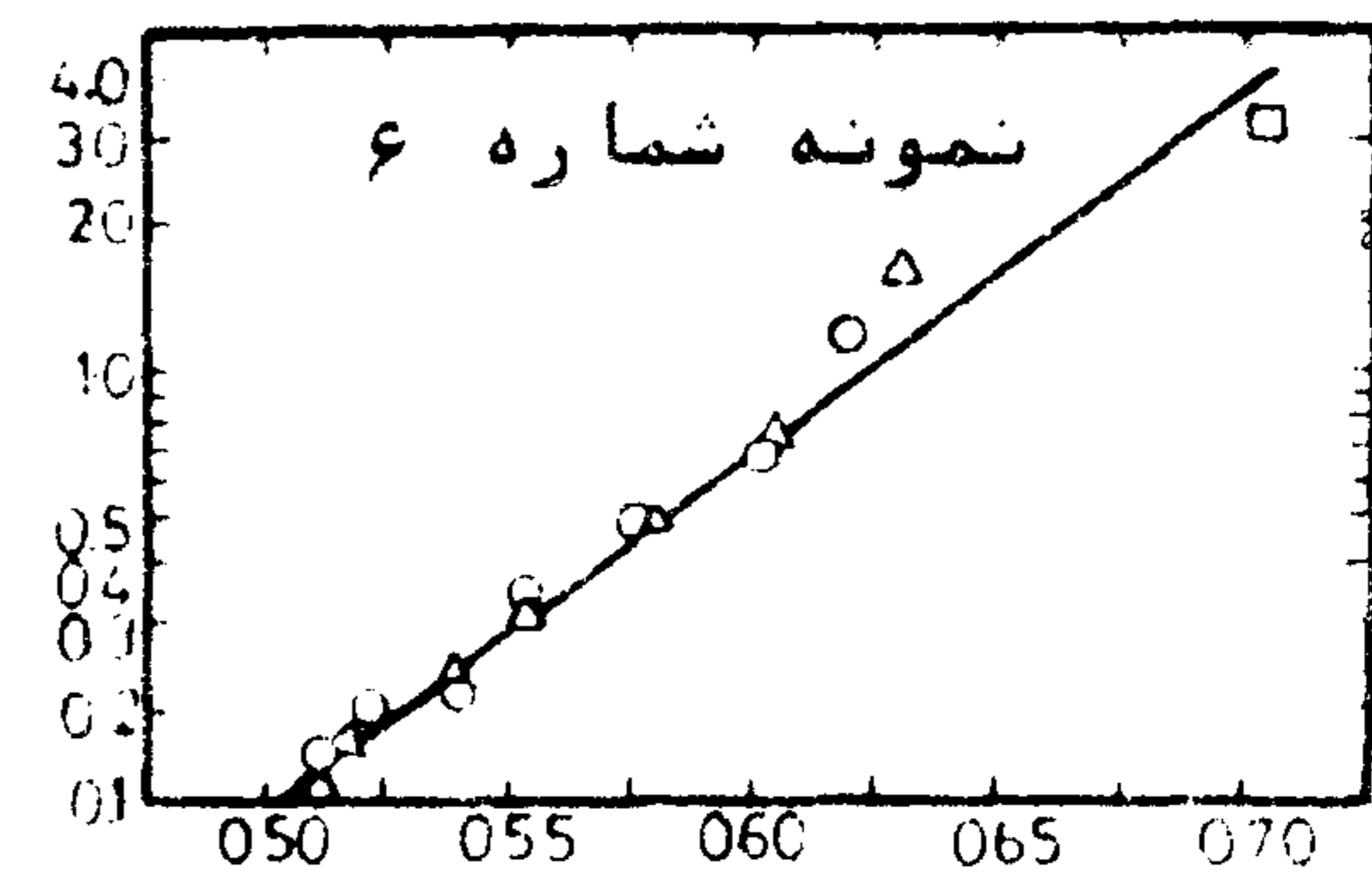
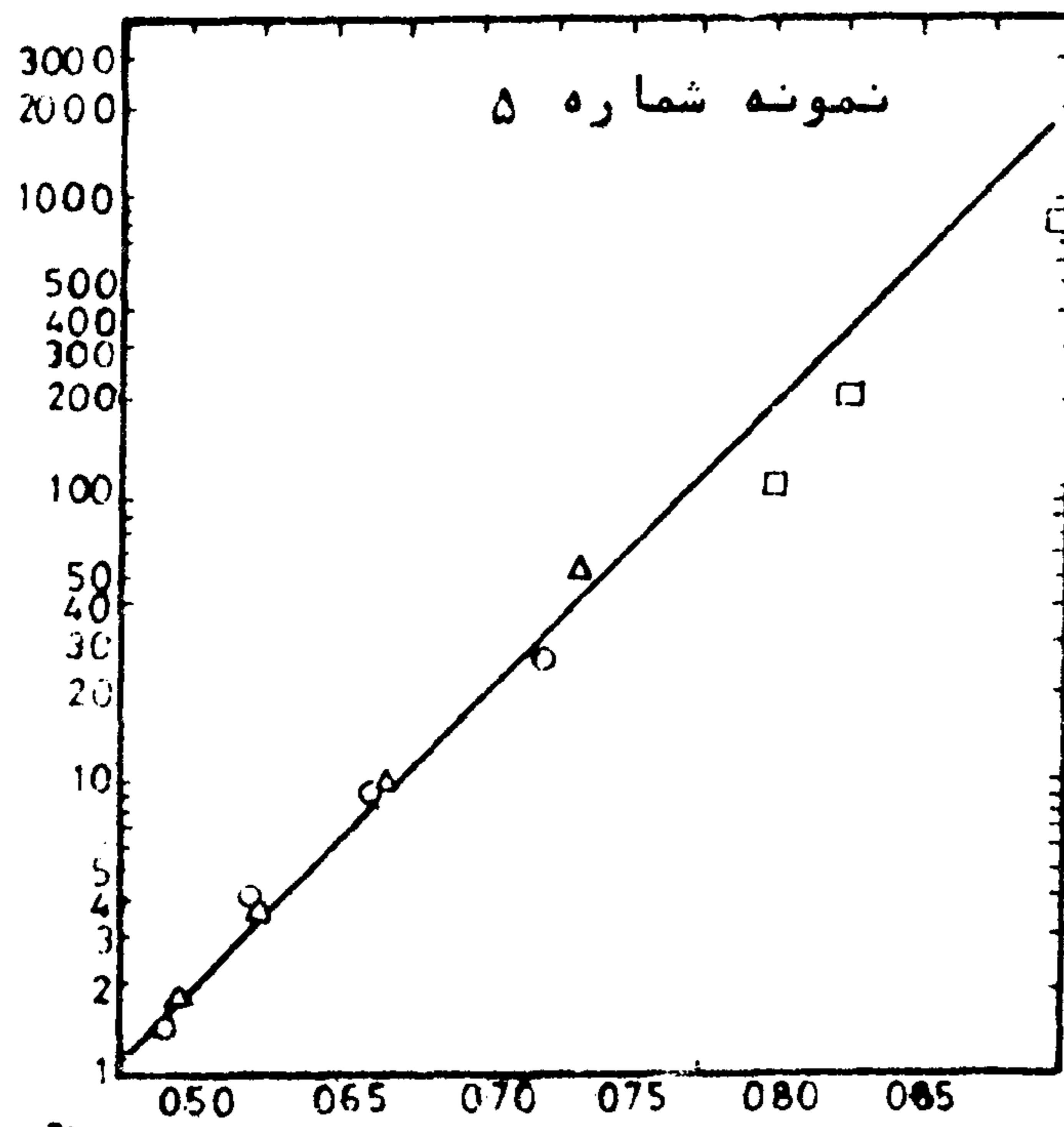
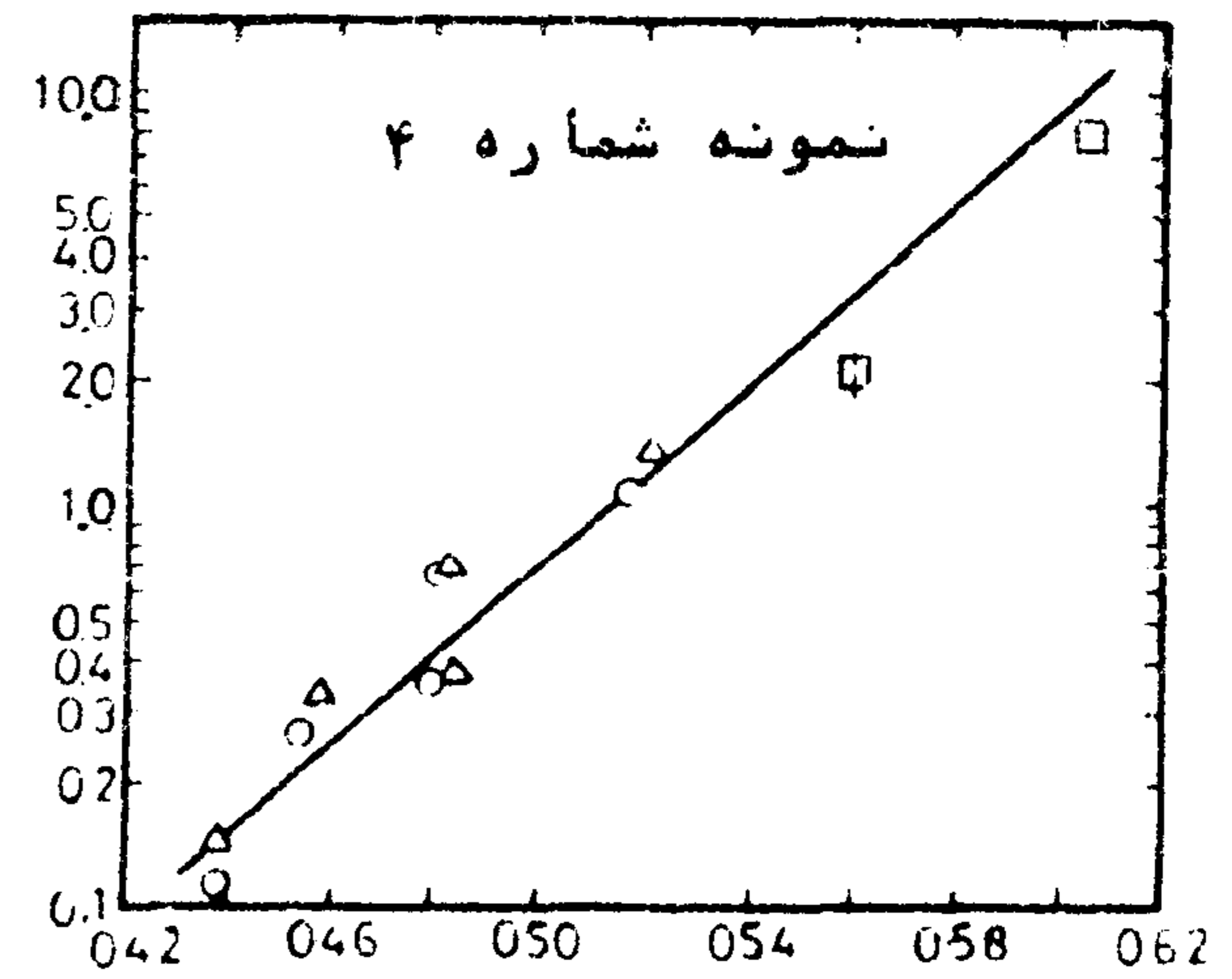
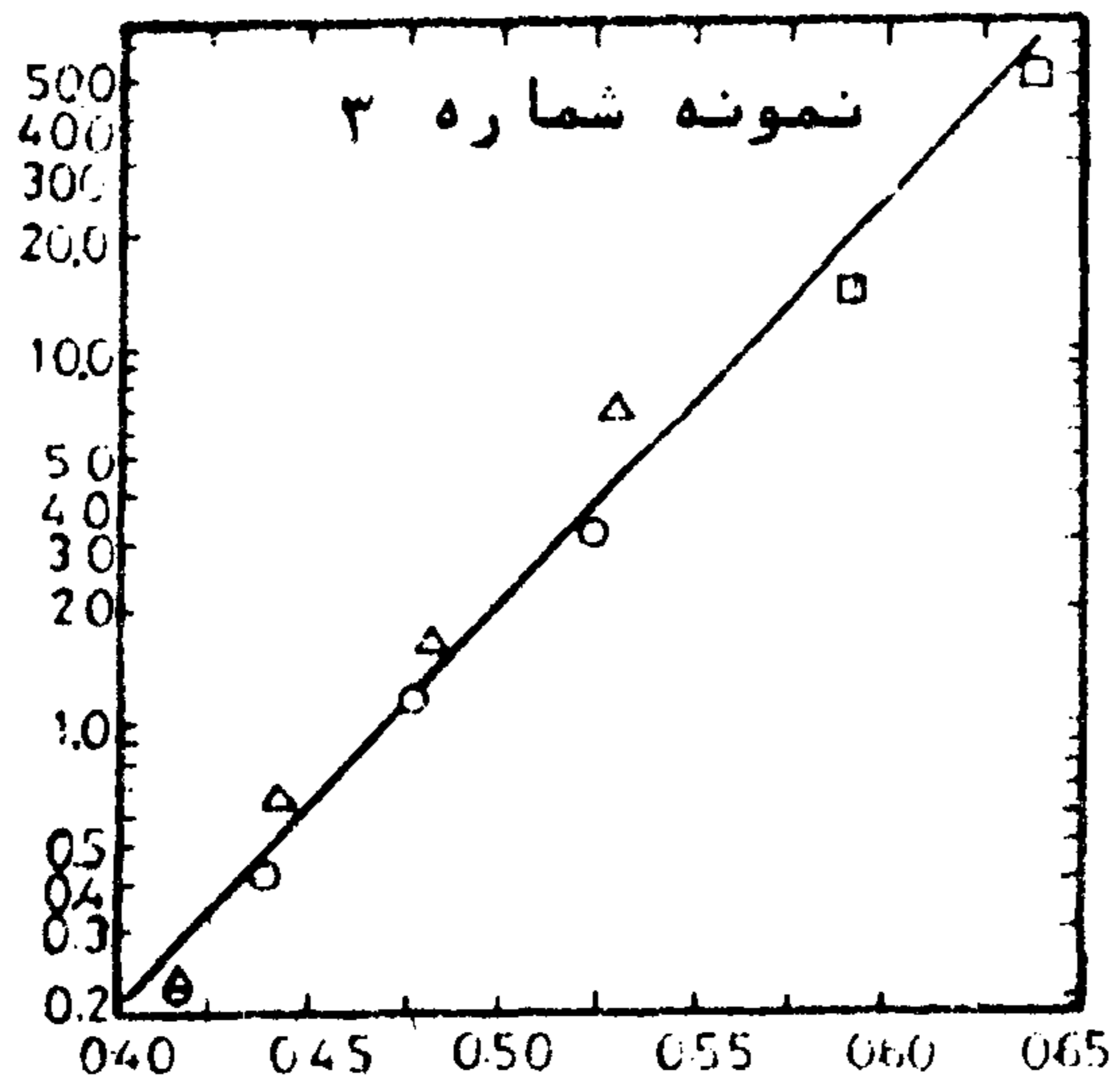
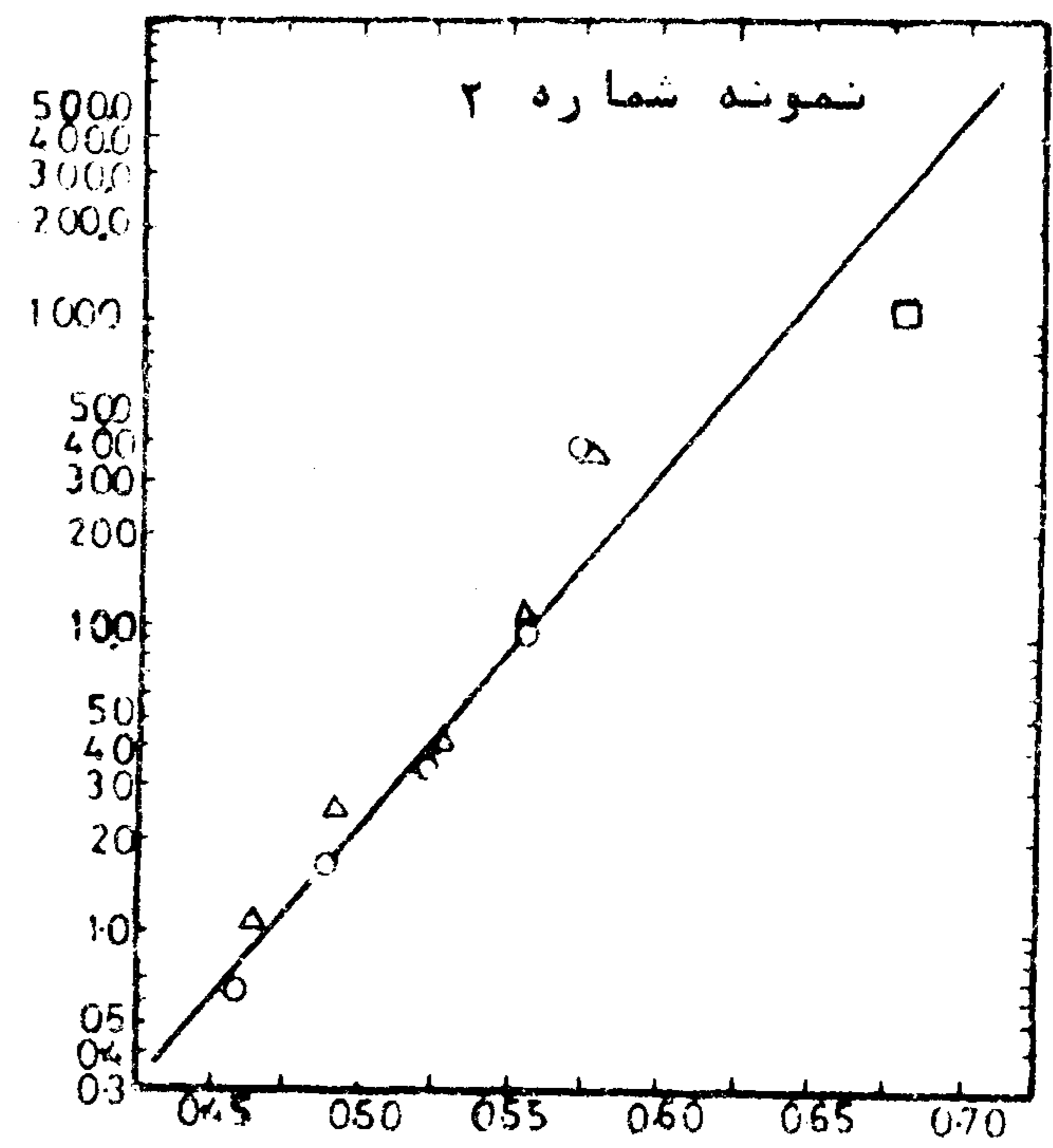
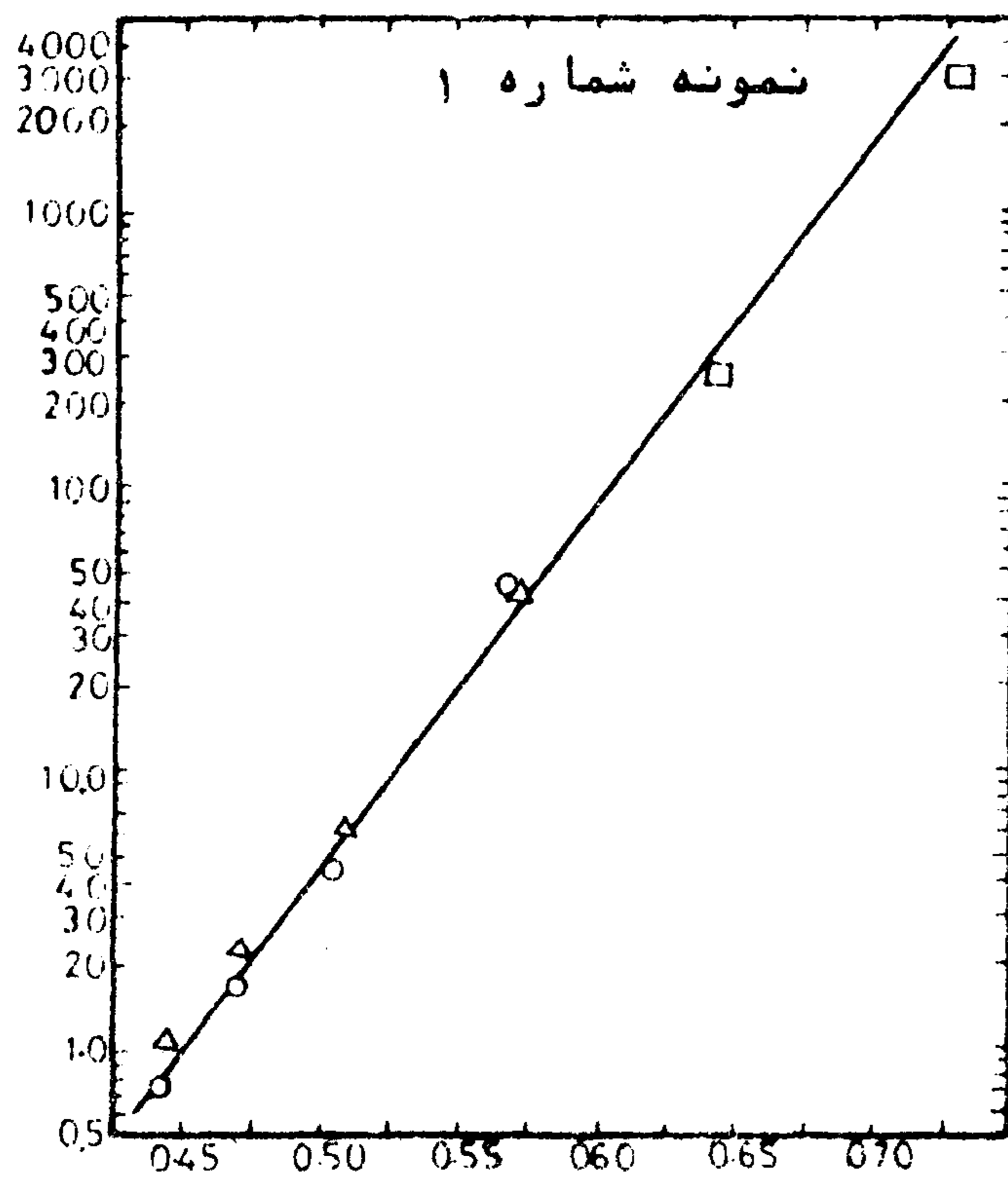
روش Δ
روش log I \circ
روش مستقیم \square

نفوذپذیری
Permeability $K \times 10^9$ cm/sec

نسبت تخلخل

Void Ratio (e)

شکل شماره ۵ - تغییرات نفوذپذیری بر حسب نسبت تخلخل برای نمونه های متراکم شده



نسبت تخلخل
 Permeability $k \times 10^9$ cm/sec
 نفوذ پذیری

شکل شماره ۶- تغییرات نفوذ پذیری بر حسب نسبت تخلخل برای نمونه های

- دست نخورده Δ v_c روش
- روش \log \circ
- روش مستقیم \square

استفاده قرار داد. نکته قابل توجه در این اشکال این است که در اغلب موارد ، نقاط حاصل از نتایج آزمایش اندازه گیری مستقیم نفوذپذیری در زیر نقاط حاصل از آزمایش تحکیم قرار می گیرد. علت این امر آن است که در طی آزمایش نفوذپذیری ، بعلت فشار خیلی زیاد آب (۳/۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع) ، نمونه خاک مقداری فشرده شده و کاهش حجم می یابد ، و در نتیجه نفوذپذیری حاصله کمی ، کمتر از رقم مورد انتظار خواهد بود ، بعلاوه مهاجرت ذرات خیلی ریز نیز ممکن است در مراحل اولیه آزمایش ، در کاهش نفوذپذیری موثر باشند ، اما این مسئله تاثیر قابل ملاحظه ای بر نتایج بدست آمده نخواهد داشت .

حسب نسبت تخلخل متوسط $\left(\frac{e_0 + e_{100}}{2}\right)$ در روی يك سیستم محورهای مختصات نیمه لگاریتمی رسم شود، باید يك خط مستقیم حاصل گردد و مقادیر نفوذپذیری بدست آمده از آزمایشات مستقیم با خط مذکور مطابقت داشته باشد. این مقایسه در مورد نتایج حاصله برای کلیه نمونه های خاک بکار برده شد و مقایسه دو روش برای نمونه های متراکم شده و دست نخورده به ترتیب در شکل های ۵ و ۶ نشان داده شده است .

اشکال مذکور نشان می دهند که نتایج بدست آمده از دو روش کاملاً " بایکدیگر قابل مقایسه بوده و بنابراین می توان نتایج حاصل از آزمایش تحکیم را برای برآورد ضریب نفوذپذیری خاکهای رسی مورد

REFERENCES

- 1- Bodman, G.B. 1937. The Variability of the Permeability Constant at Low Hydrolic Gradient During Saturated Water Flow in Soils. Soil Sc. Soc. of Am. Proc., Vol.2, PP. 45-55.
- 2- Burmister, D.M. 1954. Principles of Permeability Testing of Soils. Symposium on Permeability of Soils, ASTM, STP., No. 163, PP. 3-20.
- 3- Garcia. B.E., I. Lovell, W. Tschaeffle, 1979. Pore Distribution and Permeability of Sitly Clays, J.G.E. D., ASCE, Vol. 105, PP. 839-856.
- 4- Lambe, T.W., 1954. The Permeability of Fine Grained Soils, Symposium on Permeability of Soils, ASTM., STP., No. 163, PP. 56-67.

- 5- Matyas, E.L., 1967. Air and Water Permeability of Compacted Soils., Permeability and Capillarity of Soils, ASTM., STP. No. 417, PP. 160-173.
- 6- Mitchell, J.K., D.R. Hooper, & R.G. Campanella., 1965. Permeability of Compacted Clay., Trans. of Soil Mech. Found. Div. Proc. , ASCE., Vol. 91, PP. 41-65.
- 7- Olson, R.E., & D.E. Daniel. 1981. Measurement of the Hydrolic Conductivity of Fine Grained Soils, ASTM., STP., No. 746, PP. 18-64.
- 8- Pillsburg, A.F., & D.Appleman, 1945. Factors in Permeability Changes of Soils and Inert Granular Materials., Soil Sc. Vol. 59, PP. 115-123.
- 9- Schiffman, R.L., 1958. Consolidation of Soil Under Time-Dependent Loading and Varying Permeability, Proc. Highway Research Board, Vol. 37, PP. 584-617.
- 10-Schmid,W.W..1957. The Permeability of Soils and the Concept of Stationary Boundary-Layer. , Am. Soc. Testing and Materials Proc. Vol. 57, PP. 1195-1211.
- 11- Tavenas, J.,et al.. 1983. Clay Permeability, Canadian Geotech, Journal,Vol.20, No. 3, PP. 629-644.
- 12- Taylor,D.W. 1942. Research on the Consolidation of Clays., Dept. of Civil and Sanitary Eng., MIT., Serial No. 82..
- 13-Selected Bibliography on Permeability Testing of Rock and Soil Materials. 1967. Permeability and Capillarity of Soils, ASTM., STP., No. 417, PP. 176-203.

**Indirect Measurement of Clay Permeability and
its Comparison with Direct Measurement**

H. Rahimi

**Assistant Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering,
College of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran.**

Received for publication , April 19, 1986.

ABSTRACT

The results of direct and indirect determinations of the coefficient of permeability of several undisturbed and compacted clay soils are presented. Coefficients found using a constant head permeameter device are found to be in good agreement with those calculated from consolidation test data. The theoretical existence of linear relationships between e (Void ratio) and $\log k$ (\log of coef. perm.) and between $\log p$ (\log of coef. cons. pressure) and $\log k$, are experimentally verified. Variation of soil permeability with time during extended permeameter tests is also presented. It is concluded that the uni-directional permeability of clays may be predicted as reliably from consolidation test data as from direct measurements using a soil permeameter.