

# بررسی عملکرد جهش هیدرولیکی در مقاطع دوزنقه ای

محمد حسین امید

مربی گروه آبیاری و آبادانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله ۷۵/۳/۳۰

## خلاصه

بمنظور شناخت خصوصیات و پیش بینی عملکرد جهش هیدرولیکی در مقاطع دوزنقه ای جهت دست یابی به معیارهای هیدرولیکی طرح حوضچه های آرامش با سطح مقطع دوزنقه ، نتایج حاصل از آزمایشهای انجام شده بر روی یک مدل هیدرولیکی (فیزیکی) بادبی متغیر ۳ تا ۲۵ لیتر در ثانیه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و پارامترهای مشخصه جهش در مقاطع دوزنقه ای شامل :

نسبت عمق ثانویه ، افت انرژی و طول جهش در چهار گزینه با شیب های جانبی ۱/۵، ۱/۰، ۱/۵ و ۲ مورد مقایسه قرار گرفته است .

نتایج نشان می دهد که نسبت عمق ثانویه در مقاطع دوزنقه ای کمتر از مقطع مستطیل بوده و مقدار آن با کاهش شیب دیواره های جانبی کاهش می یابد. افت انرژی در اینگونه مقاطع با شیب دیواره های جانبی نسبت عکس دارد و طول جهش با کاهش شیب دیواره های جانبی افزایش می یابد.

## مقدمه

پدیده جهش هیدرولیکی برای اولین بار مورد توجه لئوناردو داوینچی دانشمند ایتالیائی قرار گرفت . پس از او یک مهندس ایتالیائی بنام بیدون<sup>۱</sup> در سال ۱۸۱۸ جهش هیدرولیکی را مورد بررسی و تحقیق قرار داد و از آن تاریخ تا کنون محققین زیادی در مورد شرایط و خصوصیات این پدیده جالب مطالعه کرده اند لیکن علیرغم گذشت نزدیک به دو قرن از شروع مطالعات هنوز مسائل ناشناخته زیادی در مورد جهش وجود دارد که محققین را به ادامه تحقیق در این زمینه ترغیب می کند (۲).

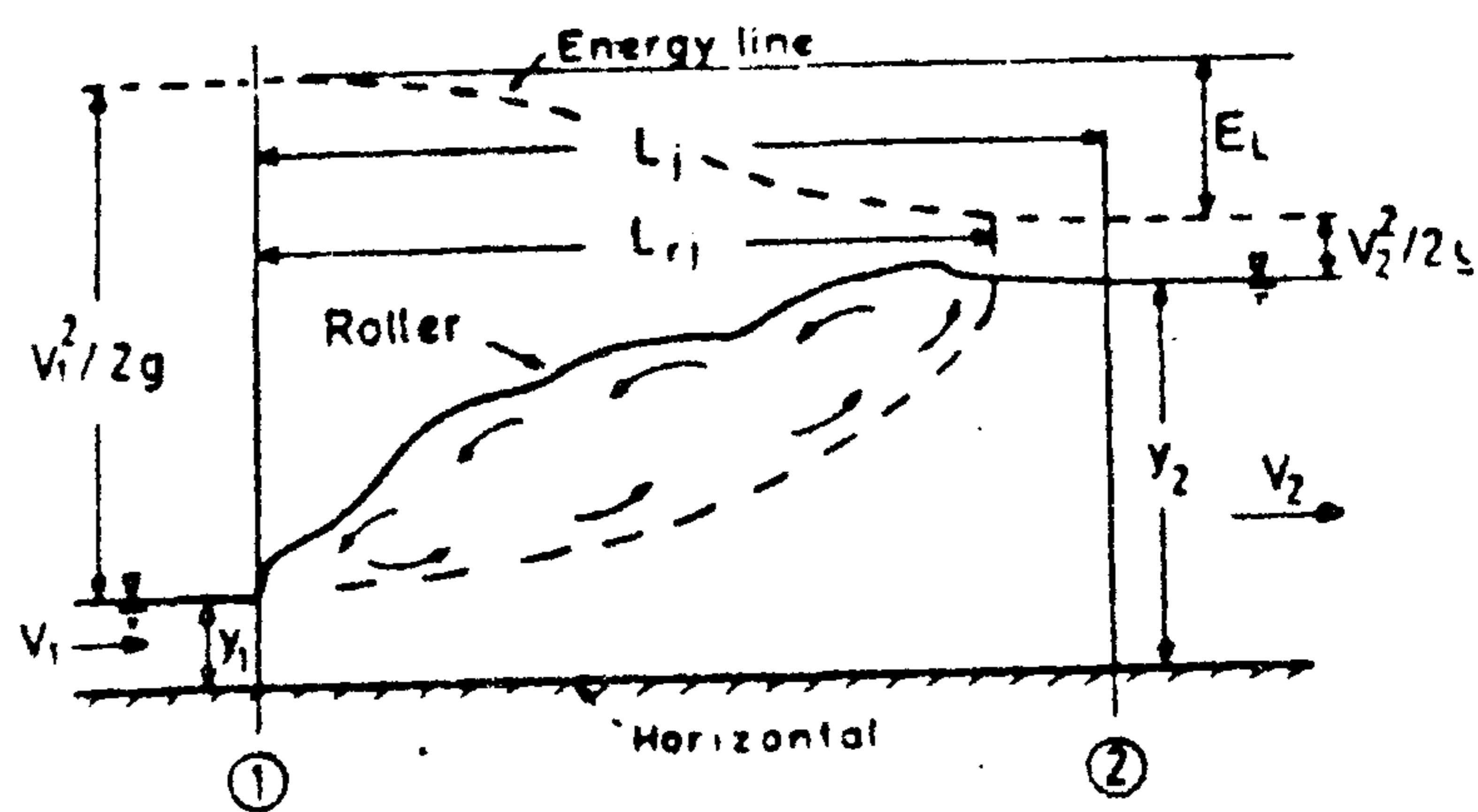
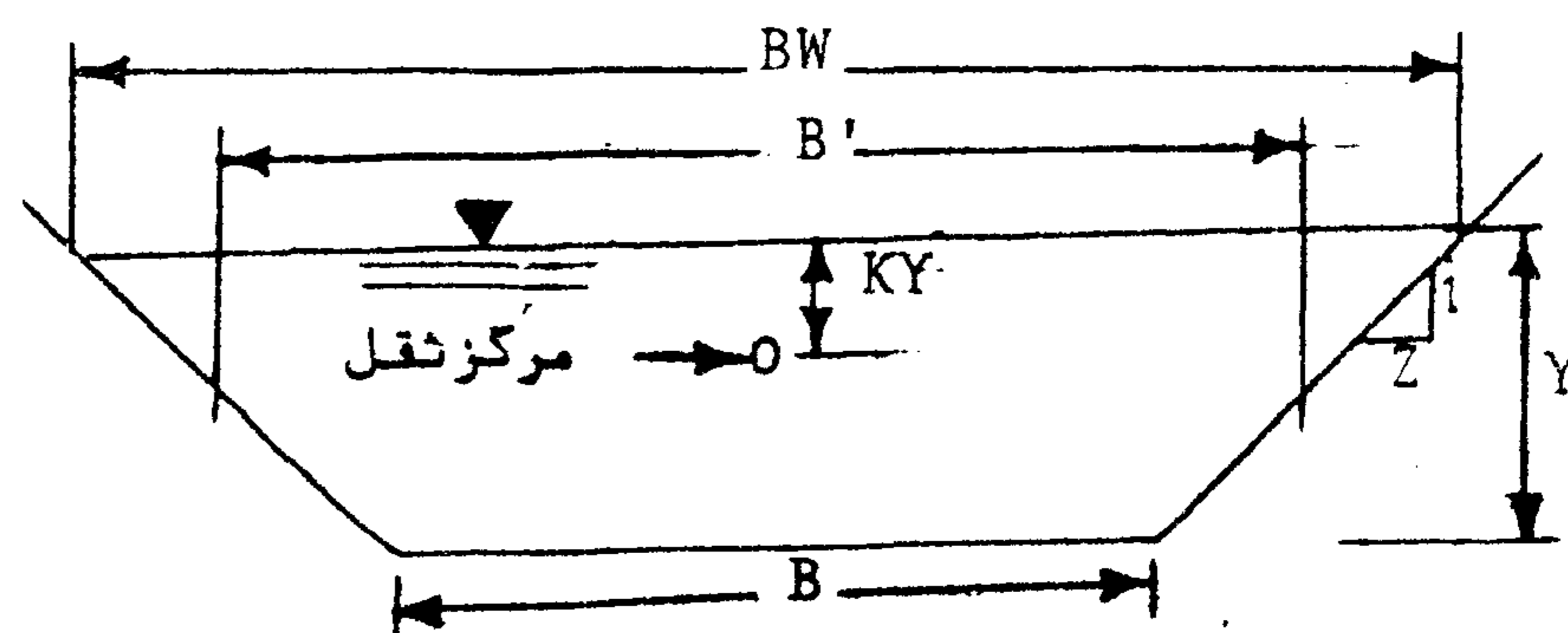
جهش هیدرولیکی یکی از انواع جریانهای متغیر سریع می باشد که در نتیجه تبدیل جریان فوق بحرانی روی شیب تند به جریان زیر بحرانی در شیب ملایم بوجود می آید. شکل جهش و مشخصات آن به عوامل متعددی از جمله شکل سطح مقطع جریان ، سرعت جریان در بالادست ، وضعیت جریان در پائین دست و ... بستگی دارد.

مطالعاتی که تا کنون در مورد جهش صورت گرفته است غالباً در مورد جریان در مقطع مستطیلی بوده و بدین لحاظ حوضچه های آرامش نیز که بستر تشکیل جهش در پائین دست سرریزها، تند آب ها ، دریاچه ها و ... می باشند عموماً " با مقطع مستطیلی احداث می گردند و طرح حوضچه با سایر مقاطع بدلیل عدم دسترسی به معیارهای هیدرولیکی لازم و عدم شناخت کافی از وضعیت و عملکرد جهش در اینگونه مقاطع ، کمتر صورت گرفته و در مواردی نیز که استفاده از این مقاطع اجتناب ناپذیر بوده است از مدل های هیدرولیکی جهت طراحی کمک گرفته شده است .

با توجه به اینکه مقطع دوزنقه در سازه های آبی بدلیل سهولت در اجرا و کاهش هزینه ، عمومیت فراوانی یافته و کاربرد آن در حوضچه های آرامش نیز روز افزون است. تحقیق حاضر بمنظور شناخت خصوصیات و پیش بینی عملکرد جهش هیدرولیکی در اینگونه مقاطع و دست یابی به معیارهای هیدرولیکی جهت طراحی اینگونه حوضچه ها صورت گرفته است .

بررسی نظری جهش هیدرولیکی در مقاطع دوزنقه‌ای

اصول هیدرولیکی حاکم بر جهش در کلیه مقاطع از جمله مقطع دوزنقه یکسان بوده و معادلاتی که مورد استفاده خواهند بود معادلات انرژی بر نولی، ممتنم و نیروی مخصوص می باشد (۹).  
 برای مطالعه خصوصیات جهش طبق معمول سه مشخصه اصلی جهش یعنی نسبت عمق ثانویه، میزان استهلاک انرژی و طول جهش را مورد بررسی قرار می دهیم (۷). شکل ۱ مقطع و پروفیل طولی جهش را همراه با پارامترهای هندسی مورد استفاده در محاسبات نشان می دهد.



شکل ۱ - شمای توصیفی مقطع و پروفیل طولی جهش (۹)

پارامترهایی که در محاسبات از آنها استفاده گردیده است

عبارتند از:

A - سطح مقطع جریان

B - عرض کف کانال

Bw - عرض مقطع در سطح آب (Bw=B+2.ZY)

B - عرض متوسط مقطع

D - عمق متوسط جریان (D=A/Bw)

E - انرژی در هر مقطع دلخواه

EI - افت انرژی

Fr - عدد فرود

G - شتاب ثقل

Lj, L - طول جهش

M - نیروی مخصوص در هر مقطع

Q - دبی جریان

R1 - افت انرژی نسبی

V - سرعت جریان

Y, d - عمق آب در هر مقطع دلخواه

Y - فاصله مرکز ثقل سطح مقطع جریان از سطح آب

Z - شیب دیواره های جانبی (Z:1)

الف - نسبت عمق ثانویه

برای محاسبه عمق ثانویه جهش از برابر قرار دادن نیروی مخصوص در فاصله کوتاه بین دو مقطع قبل و بعد از جهش با صرف نظر کردن از افت اصطکاکی ناچیز در این فاصله کمک می گیریم (۵).

$$M1=M2$$

$$(YA + \frac{Q^2}{GA})_1 = (YA + \frac{Q^2}{GA})_2$$

چنانچه فاصله مرکز ثقل سطح مقطع جریان از سطح آب را که تابعی از عمق جریان می باشد بصورت حاصلضرب ضریب ثابتی مانند K که برای هر شکل مقطع مشخص و ثابت می باشد، در عمق جریان در نظر گرفته و در معادله فوق جایگذاری کنیم. پس از مرتب کردن، خواهیم داشت:

$$K1Y1A1 - K2Y2A2 = \frac{Q^2}{G} (\frac{1}{A2} - \frac{1}{A1})$$

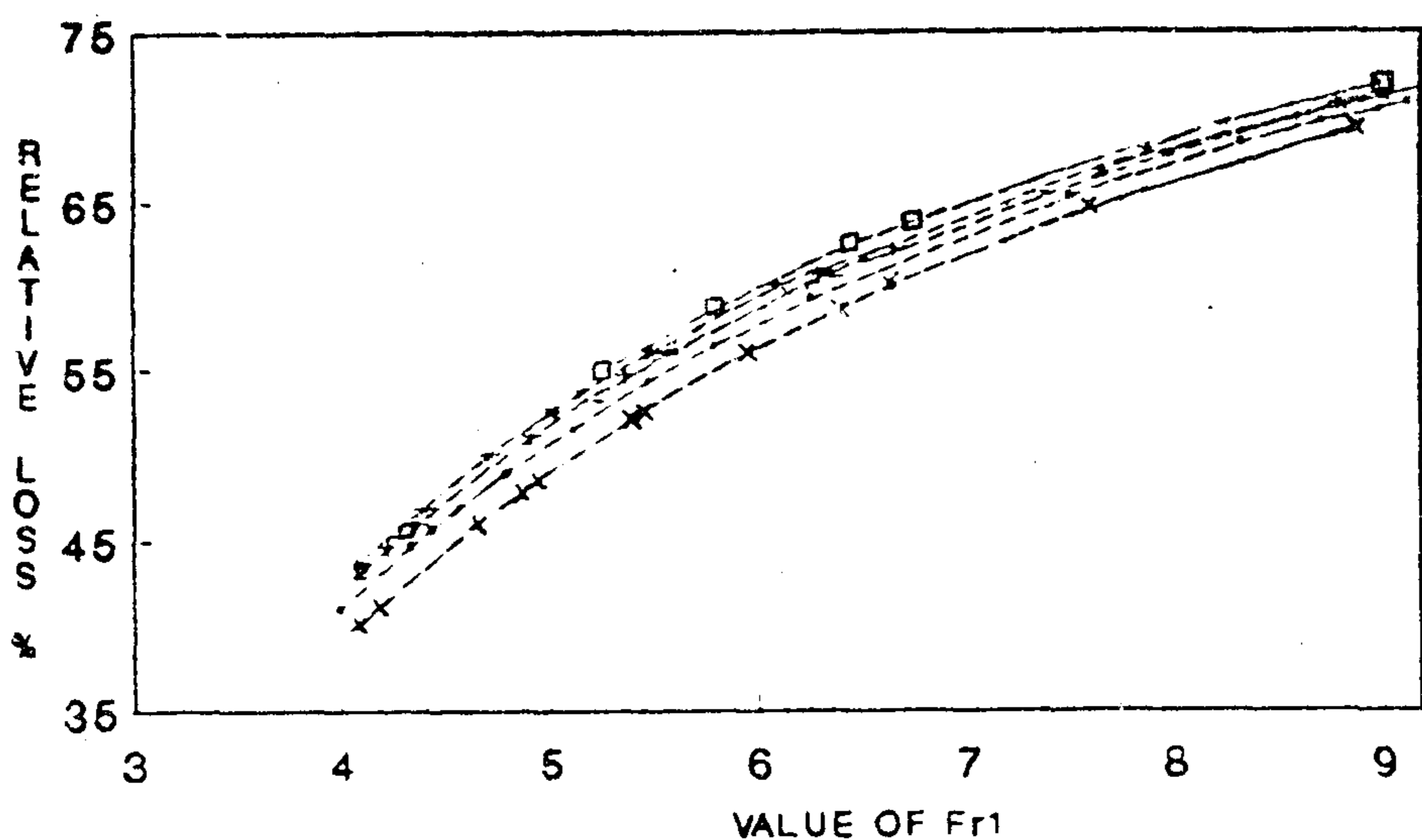
از طرفی می توان سطح مقطع دوزنقه را از حاصلضرب عرض معادل مقطع در عمق جریان بدست آورد. بنابراین: (۵)

$$K1B'1Y1^2 - K2B'2Y2^2 = \frac{Q^2}{G} (\frac{1}{B2Y2} - \frac{1}{B1Y1})$$

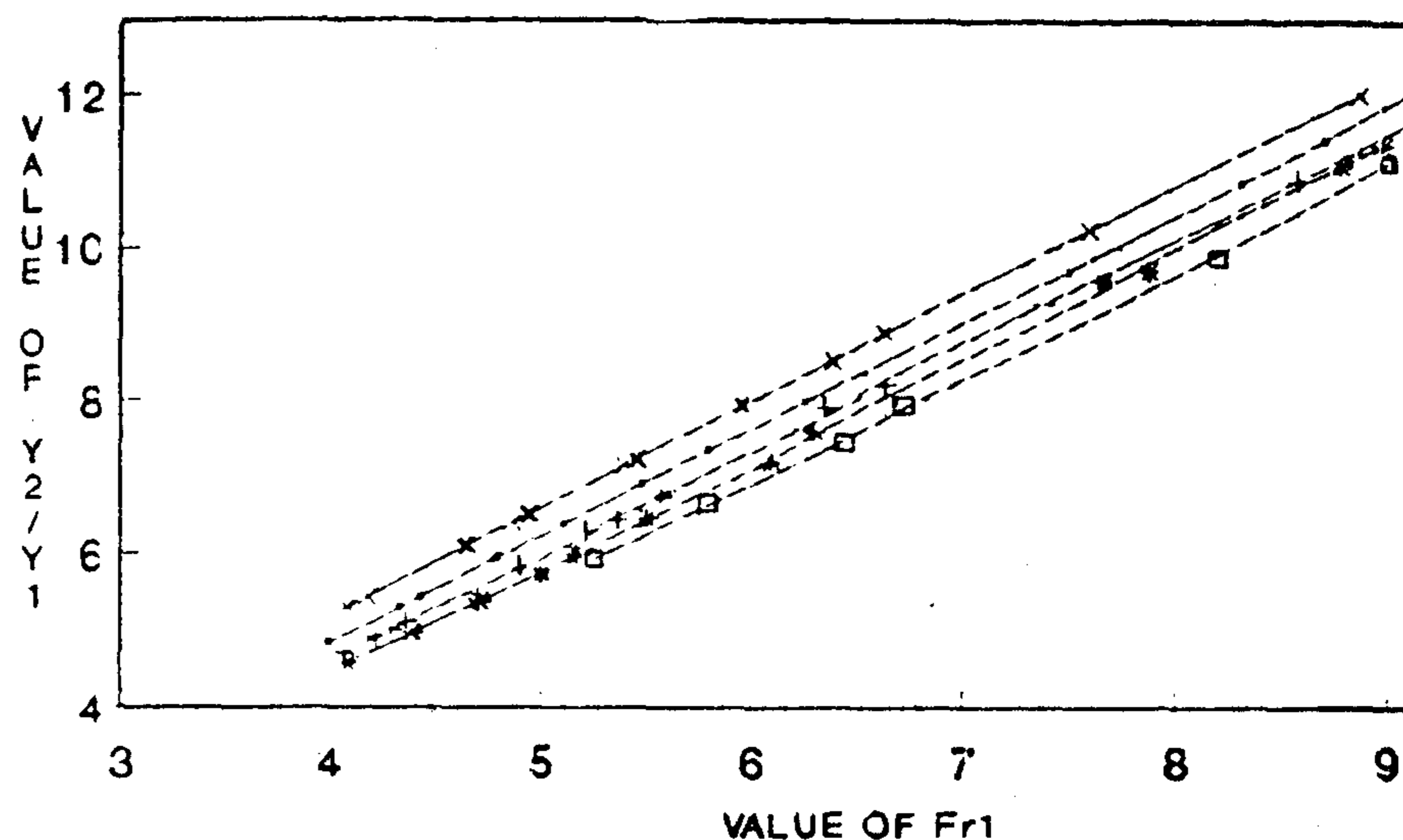
معادله ۱ یک رابطه کلی برای محاسبه عمق ثانویه در مقاطع دوزنقه ای می باشد که حل مستقیم نداشته و تنها بکمک یکی از روشهای عددی قابل حل است. چنانچه این معادله را بر حسب عدد فرود مرتب کنیم خواهیم داشت:

$$\frac{Y2}{Y1} = \{ [ K1 + Fr1^2 \frac{D}{Y1} (1 - \frac{B1Y1}{B2Y2}) ] \frac{B1}{B2} \cdot \frac{1}{K2} \}^{1/2} \quad (2)$$

برای حل معادله (۲) و محاسبه نسبت عمق ثانویه، برنامه ای به زبان بیسیک تهیه گردید که با استفاده از آن نسبت عمق ثانویه در مقابل اعداد فرود مختلف محاسبه و در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۳ - افت انرژی نسبی در مقابل اعداد فرود بالادست



شکل ۴ - نسبت عمق ثانویه در مقابل اعداد فرود بالادست

آزمایشهای انجام شده بر روی مدل‌های فیزیکی می باشد. روابطی که تاکنون برای محاسبه طول جهش در مقاطع دوزنقه ارائه گردیده است نتایج بسیار متفاوتی را بدست می دهد. بعضی از این روابط عبارتند از (۷):

$$L = 5Y_2(1 + 4 \sqrt{\frac{BW_2}{BW_1} - 1})$$

$$L = 44(Y_2 - Y_1) \quad Z=2$$

$$L = 33(Y_2 - Y_1) \quad Z=1$$

$$L = 22(Y_2 - Y_1) \quad Z=0.5$$

### مواد و روشها

بمنظور انجام آزمایشهای عملی و بررسی شرایط و خصوصیات جهش هیدرولیکی در مقاطع دوزنقه ای، از یک کانال با جنس شیشه پلاستیکی پرس پکس ۱ با کف افقی به عرض ۳۰ سانتیمتر و طول ۱۸۰ سانتیمتر در پائین دست مخزن ایجاد انرژی با سرریز اوجی استفاده گردید (۱۳۷۰) (آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه صنعتی امیر کبیر) دیواره های جانبی کانال بوسیله لوله قابل تغییر طراحی گردید تا امکان ایجاد شیب های جانبی مورد نیاز براحتی امکان پذیر باشد. در انتهای کانال یک دریچه کشویی نصب گردید که بوسیله آن ایجاد عمق لازم برای پایاب برای هر دبی براحتی امکان پذیر باشد.

برای ایجاد جریان فوق بحرانی قابل کنترل جهت دست یابی به اعداد فرود مناسب (۹-۴/۵) از یک سرریز اوجی از جنس ملات

ب - افت انرژی

افت انرژی در جهش هیدرولیکی که برابر با اختلاف انرژی قبل و بعد از جهش می باشد از تفاضل انرژی مخصوص در مقاطع قبل و بعد از جهش بدست خواهد آمد. (۵)

$$E_1 = (Y + \frac{Q^2}{2GA^2})_1 - (Y + \frac{Q^2}{2GA^2})_2$$

و یا:

$$E_1 = \frac{Y_1}{2} Fr_1^2 (1 - \frac{B_1 Y_1}{B_2 Y_2})^2 + (Y_1 - Y_2) \quad (3)$$

معادله (۳) یک رابطه عمومی برای محاسبه افت انرژی در جهش هیدرولیکی می باشد. برای بیان افت، غالباً از افت انرژی نسبی که نسبت افت انرژی به انرژی اولیه می باشد استفاده می شود. چنانچه معادله فوق را به انرژی اولیه تقسیم کنیم. پس از مرتب کردن خواهیم داشت:

$$RL = \frac{2 - \frac{2Y_2}{Y_1} + Fr_1^2 [1 - (\frac{B_1 Y_1}{B_2 Y_2})^2]}{2 + Fr_1}$$

برای حل معادله فوق و محاسبه افت انرژی، برنامه ای به زبان بیسیک تهیه گردید که نتایج آن بصورت منحنی های افت انرژی نسبی در مقابل اعداد فرود مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است. ج - طول جهش

هیچگونه رابطه تحلیلی برای محاسبه طول جهش هیدرولیکی در هیچیک از مقاطع وجود ندارد و آنچه که نیز تاکنون در این رابطه بیان گردیده است مبتنی بر تجربیات حاصل از

در هر آزمایش دبی، عمق های اولیه و ثانویه و طول جهش اندازه گیری گردید و وضعیت عمومی جهش نیز ثبت شد. نمونه ای از نتایج آزمایشهای انجام شده که مربوط به گزینه I ( $Z=0.5$ ) می باشد در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

تجزیه و تحلیل مشاهدات و نتایج آزمایشها

بمنظور ایجاد سهولت در مقایسه بین گزینه ها، نتایج آزمایشهای انجام شده بصورت منحنی های تغییرات، نسبت عمق ثانویه، افت انرژی نسبی و نسبت طول جهش به عمق اولیه در مقابل اعداد فرود بالادست رسم گردیده و در شکلهای ۵ الی ۱۸ نشان داده شده است. با استفاده از این نمودارها می توان نتایج زیر را در مورد خصوصیات جهش استخراج نمود.

الف - نسبت عمق ثانویه

از شکلهای ۹-۵ مشاهده می گردد که نسبت عمق ثانویه واقعی در تمام گزینه ها هماهنگ با نسبت عمق ثانویه تئوری که از شکل شماره ۲ استخراج گردید می باشد. با افزایش عدد فرود  $FR_1$  افزایش می یابد و مقدار آن نیز همواره بیشتر از مقدار تئوری می باشد که این تفاوت بدلیل صرف نظر کردن از افت اصطکاکی در معادلات تئوری می باشد. همبستگی میان منحنی های تئوری و نتایج عملی را می توان دلیلی بر دقت بالای نتایج بدست آمده دانست. از مقایسه منحنی های مربوط به گزینه های مختلف که در شکل ۱۰ نشان داده شده اند مشاهده می گردد که منحنی های مربوط به گزینه های II, I, IV, III که مربوط به مقاطع دوزنقه می باشند در زیر منحنی مربوط به گزینه V (مقطع مستطیلی) قرار دارند و این بدان معنی است که نسبت عمق ثانویه در شرایط یکسان عدد فرود بالادست، با افزایش شیب جانبی افزایش می یابد. به همین دلیل بیشترین نسبت عمق ثانویه مربوط به مقطع مستطیل و کمترین آن مربوط به مقطع دوزنقه با شیب جانبی  $Z=2$  می باشد.

بر اساس داده های بدست آمده بهترین معادلاتی که بیشترین ضریب همبستگی را داشته اند از میان بازگشت های مختلف برای محاسبه نسبت عمق ثانویه تعیین گردیده است که در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

ب - افت انرژی

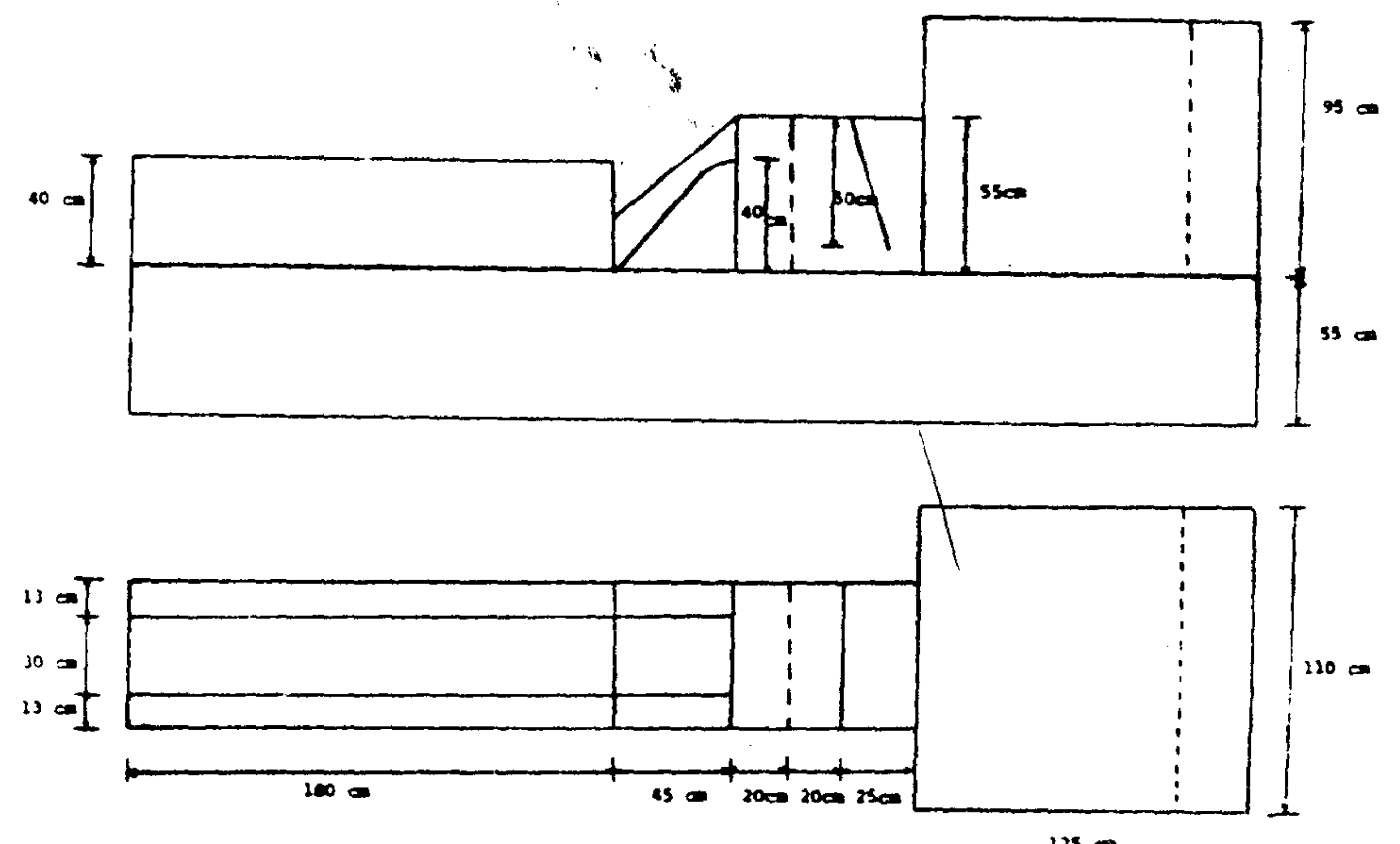
در نمودارهای ۱۶-۱۱، منحنی های تغییرات افت انرژی نسبی اندازه گیری شده در مقابل اعداد فرود بالادست در کنار

سیمان به ارتفاع ۴۰ سانتیمتر با سطح کاملاً صاف استفاده شد. برای دست یابی به یک جریان آرام و بدون موج روی سرریز از دو مخزن متوالی که در داخل آنها شبکه های آرام کننده قرار داشت استفاده شد. در حد فاصل بین دو مخزن یک سرریز مثلثی و اسنجی شده در آزمایشگاه نصب گردید تا اندازه گیری دبی با دقت لازم امکان پذیر باشد. منبع تامین آب مخزن زمینی آزمایشگاه بود که با استفاده از یک دستگاه الکتروپمپ گریز از مرکز جریان لازم را به داخل مخزن مدل هدایت می کرد و در انتهای مدل مجدداً جریان به مخزن زمینی بازگردانده می شد.

وسایل اندازه گیری که در آزمایشها مورد استفاده قرار گرفتند

شامل:

سرریز مثلثی، پیزومتر، متر و عمق سنج با دقت ۱/۰ میلیمتر (قبل از سرریز مثلثی، قبل از سرریز اوجی و در محل عمق های اولیه و ثانویه) بود. شکل ۴ مشخصات مدل را نشان می دهد.



شکل ۴ - مشخصات پلان و مقطع طولی مدل فیزیکی

با توجه به اینکه شیب های جانبی مورد استفاده در سازه های هیدرولیکی تقریباً بصورت تیپ و استاندارد می باشد، آزمایشها در قالب ۵ گزینه به ترتیب با شیب های جانبی ۱/۵، ۱، ۰/۵ و ۰ (مقطع مستطیل بعنوان مرجع مقایسه) صورت گرفت. در هر گزینه آزمایشها با دبی کم شروع و با هر تکرار مقداری به دبی افزوده می گردید. تنظیم دبی بوسیله یک شیر فلکه که بلافاصله بعد از پمپ نصب گردیده بود صورت میگرفت به استثناء گزینه IV که بدلیل ناپایداری جهش امکان آزمایش در دبی های بالا میسر نبود در سایر گزینه ها بین ۱۲ تا ۱۶ تکرار انجام شد.

جدول ۱ - مشخصات جهش در گزینه I

N	Fr1	d1cm	d2cm	Hjcm	$\frac{d2}{d1}$	Lcm	L/d1	L/d2	L/H3	E1cm	E2cm	ELcm%	RL%	Ej%
(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)	(۸)	(۹)	(۱۰)	(۱۱)	(۱۲)	(۱۳)	(۱۴)	(۱۵)
۱	۹/۱	۰/۴۷	۶/۲	۵/۷	۱۳/۲	۴۲	۸۹/۴	۶/۸	۷/۴	۱۹/۸	۶/۳	۱۳/۱۵	۶۸/۲	۳۱/۸
۲	۹/۰	۰/۵۱	۶/۴	۵/۹	۱۲/۶	۴۴	۸۶/۳	۶/۹	۷/۵	۲۰/۸	۶/۵	۱۴/۳	۶۸/۷	۳۱/۳
۳	۸/۷	۰/۶۳	۷/۶	۷/۰	۱۲/۱	۵۱	۸۱/۰	۶/۷	۷/۳	۲۴/۲	۷/۸	۱۶/۴	۶۷/۸	۳۲/۲
۴	۷/۶	۰/۸۵	۹/۲	۸/۴	۱۰/۸	۵۶	۶۶/۰	۶/۱	۶/۷	۲۴/۶	۹/۴	۱۵/۲	۶۳/۰	۳۸/۰
۵	۶/۸	۱/۱۸	۱۱/۳	۱۰/۱	۹/۶	۶۴	۵۴/۰	۵/۷	۶/۳	۲۵/۱	۱۱/۵	۱۳/۶	۵۴/۰	۴۶/۰
۶	۵/۸	۱/۴۰	۱۱/۷	۱۰/۳	۸/۴	۶۶	۴۷/۱	۵/۶	۶/۴	۲۴/۳	۱۱/۹	۱۳/۴	۵۰/۹	۴۹/۱
۷	۵/۵	۱/۶۲	۱۲/۶	۱۱/۰	۷/۸	۷۲	۴۴/۴	۵/۷	۶/۶	۲۵/۳	۱۲/۹	۱۲/۴	۴۹/۱	۵۰/۹
۸	۵/۱	۱/۹۰	۱۳/۶	۱۱/۷	۷/۲	۷۷	۴۰/۵	۵/۷	۶/۶	۲/۵۹	۱۳/۹	۱۲/۰	۴۶/۲	۵۳/۸
۹	۴/۸	۲/۲۰	۱۴/۸	۱۲/۶	۶/۷	۸۴	۳۸/۲	۵/۷	۶/۷	۲۶/۶	۱۵/۲	۱۱/۴	۴۲/۰	۵۷/۰
۱۰	۴/۸	۲/۲۵	۱۵/۰	۱۲/۸	۶/۷	۸۷	۳۸/۶	۵/۸	۶/۸	۲۷/۱	۱۵/۴	۱۱/۷	۴۳/۲	۵۶/۸
۱۱	۴/۴	۲/۵۶	۱۶/۰	۱۳/۴	۶/۳	۹۳	۳۶/۳	۵/۸	۶/۹	۲۶/۷	۱۶/۴	۱۰/۳	۳۸/۵	۶۱/۵
	۱۲	۴/۳	۲/۸۰	۱۶/۸	۱۴/۰	۹۷	۳۴/۶	۵/۸	۶/۹	۲۷/۹	۱۷/۳	۱۰/۶	۳۸/۱	۶۱/۹
۱۳	۴/۰	۳/۲۰	۱۷/۸	۱۴/۶	۵/۶	۱۰۴	۳۲/۵	۵/۸	۷/۱	۲۷/۵	۱۸/۳	۹/۲	۳۳/۴	۶۶/۶
۱۴	۴/۰	۳/۵۰	۱۸/۷	۱۵/۲	۵/۴	۱۱۰	۳۱/۴	۵/۹	۷/۲	۲۹/۹	۱۹/۳	۱۰/۶	۳۵/۵	۶۴/۵

که بیشترین طول جهش مربوط به کمترین شیب جانبی ( $Z=2$ ) و کمترین طول آن مربوط به بیشترین شیب جانبی (مقطع مستطیلی) می باشد.

در جدول شماره ۳، بهترین معادلاتی که بیشترین ضریب همبستگی را دارا بوده اند جهت محاسبه طول جهش بر اساس نسبت های طول جهش به عمقهای اولیه و ثانویه نشان داده شده اند.

طبق آنچه از نتایج آزمایشها مشاهده گردید، نسبت عمق ثانویه در مقاطع دوزنقه ای همواره کمتر از مقدار آن در مقاطع مستطیلی می باشد. این موضوع از طریق ریاضی نیز با استفاده از معادله نیروی مخصوص قابل اثبات است. چنانچه معادله نیروی مخصوص را برای محاسبه عمق ثانویه در دو کانال با عرض کف یکسان، یکی با مقطع مستطیلی و دیگری با مقطع دوزنقه که با شرایط بالادست یکسان، جهش در آنها تشکیل شده است در نظر بگیریم خواهیم داشت:

$$M1_{Rec.} = M1_{Tra.}$$

$$M1 = M2 \Rightarrow M2_{Rec.} = M2_{Tra.}$$

$$\left(\bar{Y}A + \frac{Q^2}{GA}\right)_{2 Tra.} = \left(\bar{Y}A + \frac{Q^2}{GA}\right)_{2 Rec.}$$

چنانچه طرفین رابطه فوق را در نسبت  $\frac{G}{AQ}$  ضرب نموده

و بجای  $Y$ ، معادل آن را که برای مقطع دوزنقه  $\left(\frac{1}{3} + \frac{1}{6} \frac{B}{B}\right)$

و برای مستطیل  $\bar{Y} = Y/2$  می باشد جایگذاری کنیم خواهیم داشت:

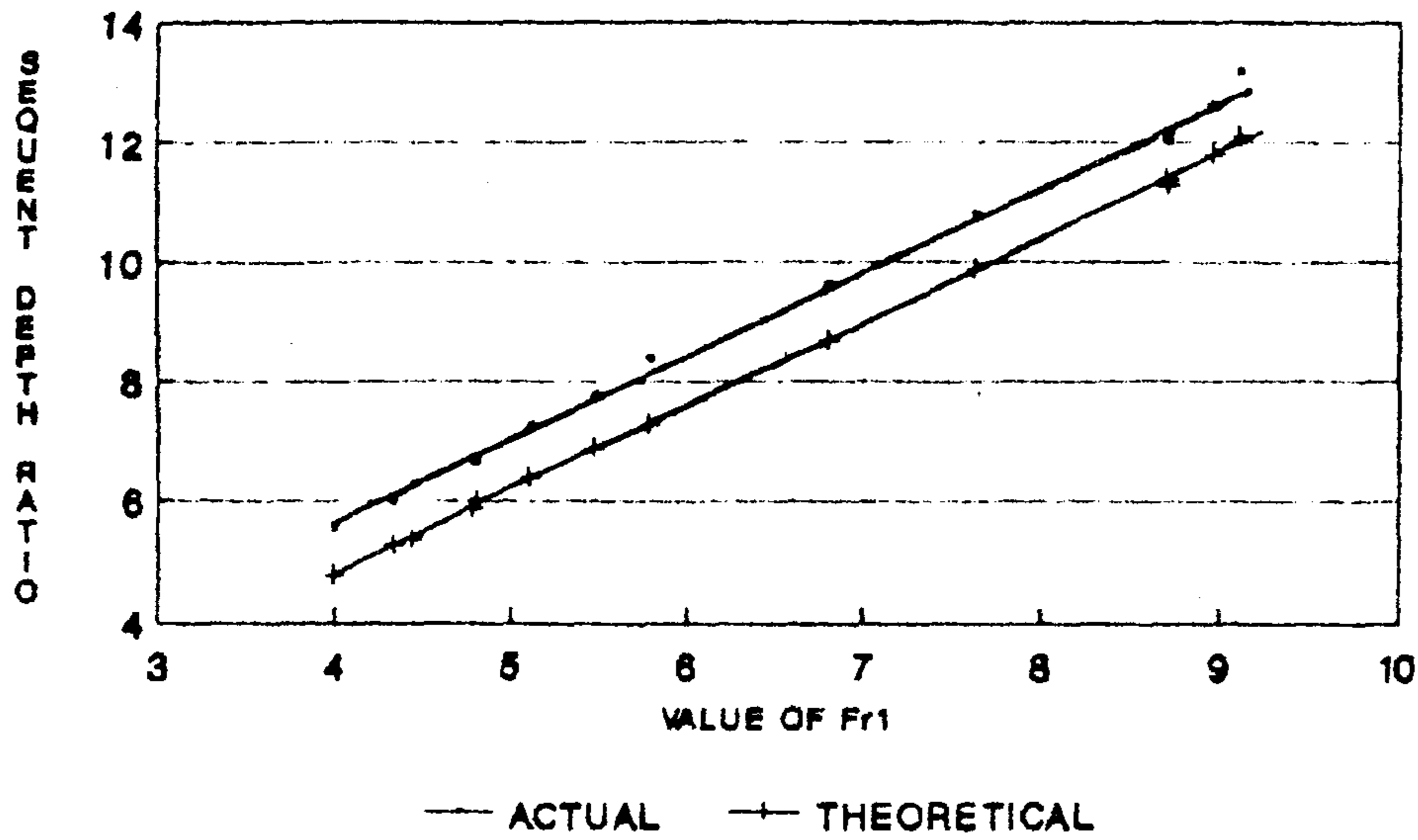
منحنی های تئوری که از شکل شماره ۳ استخراج گردیده اند نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می گردد در تمام گزینه ها همبستگی قابل قبولی میان نتایج عملی و محاسبات تئوری وجود دارد. در این نمودارها افت انرژی واقعی کمتر از افت محاسبه شده تئوری دیده است. که این مربوط به کوچکتر بودن عمق ثانویه تئوری نسبت به عمقهای واقعی می باشد.

از مقایسه منحنی های مربوط به گزینه های مختلف که در شکل ۱۷ نشان داده شده است مشاهده می گردد که حداکثر افت انرژی مربوط به گزینه IV ( $Z=2$ ) و حداقل آن مربوط به گزینه V ( $Z=0$ ) می باشد و سایر گزینه ها نیز بترتیب کاهش شیب جانبی، در بالای منحنی مربوط به گزینه V قرار دارند. بنابراین ملاحظه می گردد که افت انرژی در مقاطع دوزنقه بیشتر از مقطع مستطیلی بوده و مقدار آن با کاهش شیب های جانبی، افزایش می یابد.

### ج - طول جهش

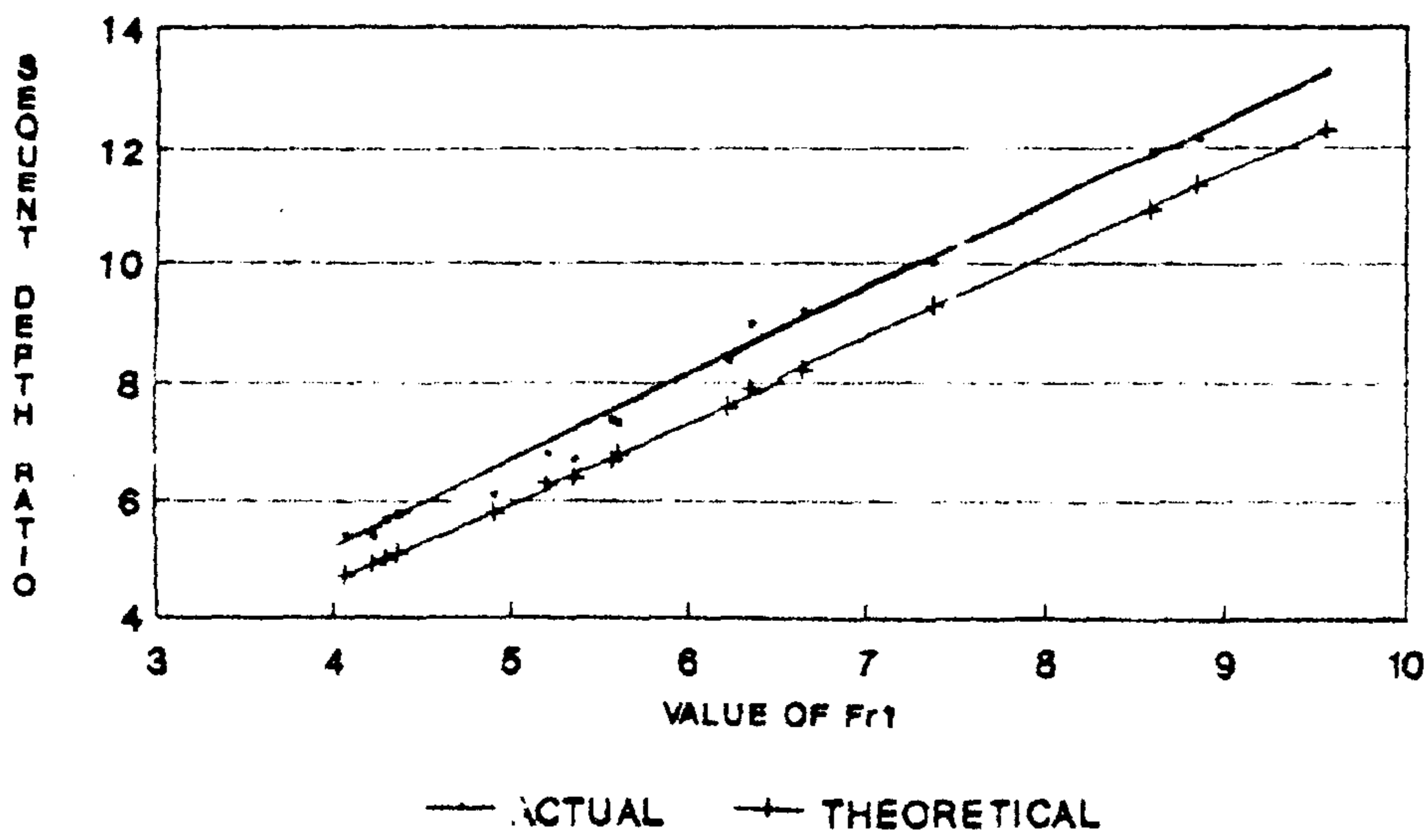
بمنظور بررسی طول جهش و امکان مقایسه و تعمیم آن، از نسبت بدون بعد طول جهش به عمق اولیه استفاده گردید. نتایج اندازه گیری های انجام شده در شکل ۱۸ نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می گردد منحنی های مربوط به گزینه های I تا IV در بالای منحنی مربوط به گزینه V (مقطع مستطیلی) قرار دارند بگونه ای

(Z=0.5)



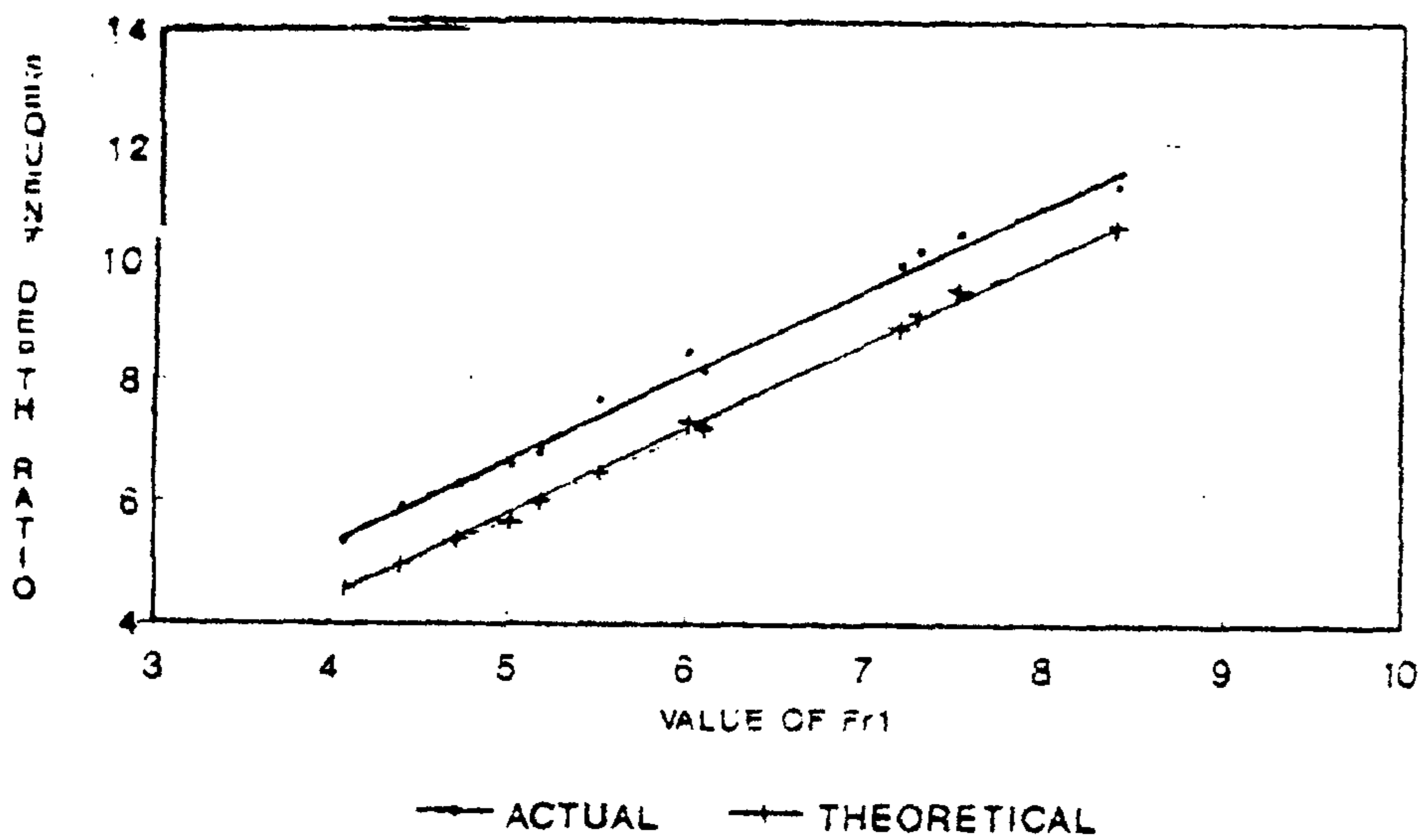
شکل ۵ - مقایسه نتایج واقعی با منحنی تئوری نسبت عمق ثانویه برای گزینه I

(Z=1)



شکل ۶ - مقایسه نتایج واقعی با منحنی تئوری نسبت عمق ثانویه برای گزینه II

(Z=1.5)



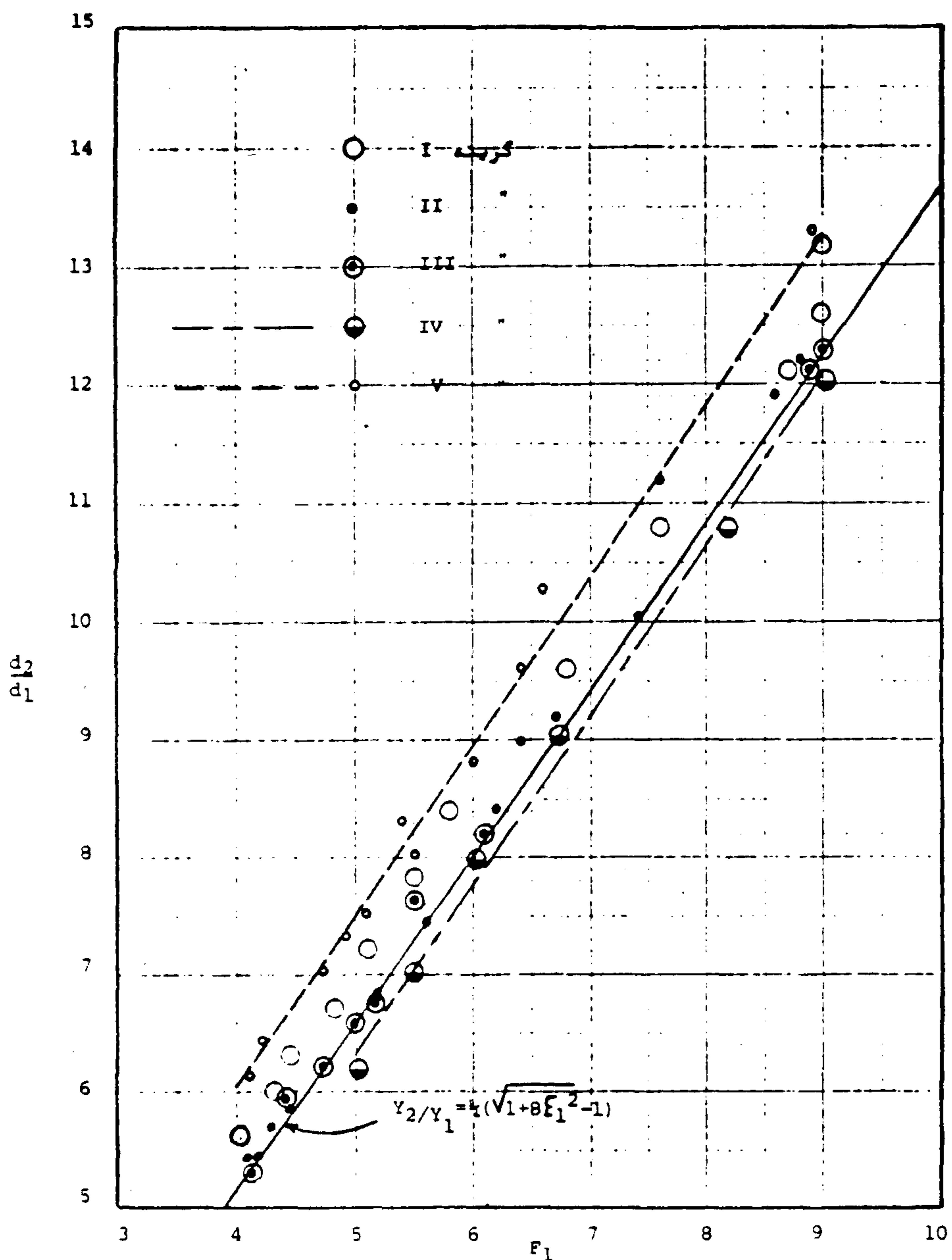
شکل ۷ - مقایسه نتایج واقعی با منحنی تئوری نسبت عمق ثانویه در گزینه III

جدول ۲ - معادلات منحنی های تغییرات نسبت عمق ثانویه در مقابل اعداد با فرود بالادست.

ردیف	معادله منحنی	ضریب همبستگی	گزینه
۱	$\frac{d2}{d1} = 1.33 F_1^{1.037}$	0.998	I
۲	$\frac{d2}{d1} = 1.23 F_1^{1.053}$	0.999	II
۳	$\frac{d2}{d1} = 1.11 F_1^{1.088}$	0.996	III
۴	$\frac{d2}{d1} = 1.13 F_1^{1.068}$	0.992	IV
۵	$\frac{d2}{d1} = 1.47 F_1^{1.009}$	0.996	V

جدول ۳ - معادلات منحنی های نسبت طول جهش به عمق های اولیه و ثانویه.

ردیف	معادله	ضریب همبستگی	گزینه
۱	$\frac{L}{d1} = 5.89 F_1^{1.20}$	0.995	I
۲	$\frac{L}{d1} = 7.04 F_1^{1.16}$	0.992	II
۳	$\frac{L}{d1} = 5.25 F_1^{1.62}$	0.993	III
۴	$\frac{L}{d1} = 12.83 F_1^{1.24}$	0.997	IV
۵	$\frac{L}{d1} = 7.46 F_1^{1.04}$	0.993	V
۱	$\frac{L}{d2} = 0.097 F_1^2 - 1.084 F_1 + 8.66$	0.98	I
۲	$\frac{L}{d2} = 0.077 F_1^2 - 0.965 F_1 + 9.86$	0.78	II
۳	$\frac{L}{d2} = 0.083 F_1^2 - 0.006 F_1 + 8.44$	0.98	III
۴	$\frac{L}{d2} = 0.149 F_1^2 - 1.368 F_1 + 17.33$	0.99	IV
۵	—	—	V

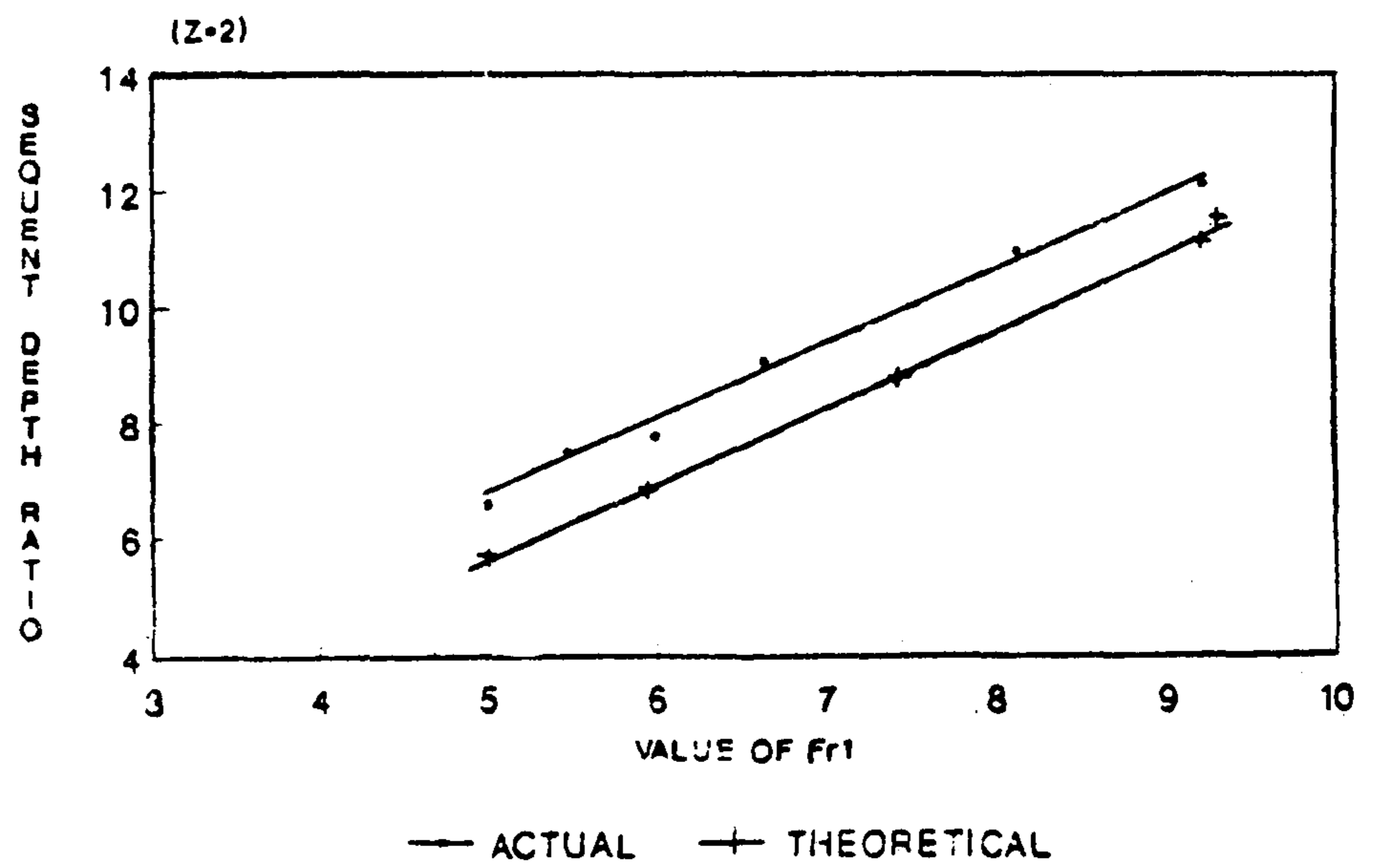


شکل ۱۰ - نسبت عمق ثانویه در مقابل اعداد فرود بالادست

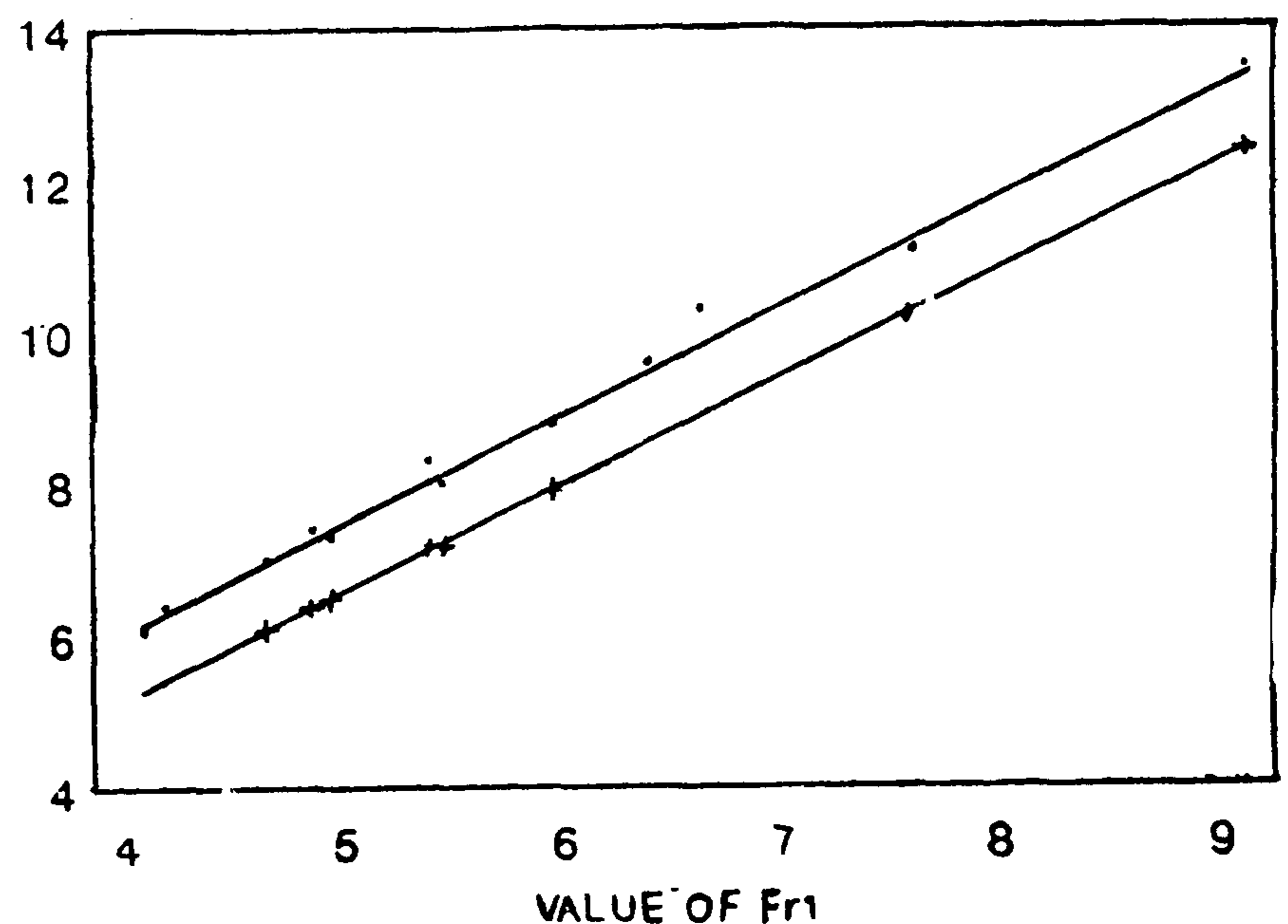
$$Y2Rec. / Y2Tra. > 1 \Rightarrow Y2Rec. > Y2Tra.$$

همچنین نتایج عملی و محاسبات تئوری نشان داد که همواره افت انرژی در مقاطع دوزنقه بیشتر از میزان افت در مقاطع مستطیلی است.

افزایش طول جهش در مقاطع دوزنقه ای نسبت به مقطع مستطیلی را می توان به این صورت تعبیر کرد که در نتیجه کاهش شیب دیواره های جانبی بخشی از سطح مقطع جریان بصورت دو مثلث قائم الزویه در دو طرف مسیر جریان قرار گرفته و در مقابل جت ورودی آب قرار نمی گیرد. بنابراین همواره بخشی از سطح مقطع جریان که می بایست بعنوان نیروئی در مقابل فرار جت آب عمل کند در حاشیه قرار گرفته و نقشی ایفا نمی کند. از طرفی با توجه به کاهش عمق ثانویه در مقاطع دوزنقه ای فشار هیدروستاتیکی در مقطع (۲) نیز کاهش می یابد. که این امر نیز موجب طولانی تر شدن جهش خواهد بود.



شکل ۸ - مقایسه نتایج واقعی با منحنی تئوری نسبت عمق ثانویه در گزینه IV



شکل ۹ - مقایسه نتایج واقعی و منحنی تئوری نسبت عمق ثانویه در گزینه V

$$\left[ \frac{Gy \left( \frac{1}{3} + \frac{1}{6} \frac{B}{B'} \right) + 1}{\left[ \frac{Q^2}{2} + \frac{1}{(BY)^2} \right]_{Tra.}} \right] = \left[ \frac{Gy/2}{Q^2} + \frac{1}{(BY)^2} \right]_{2Rec.}$$

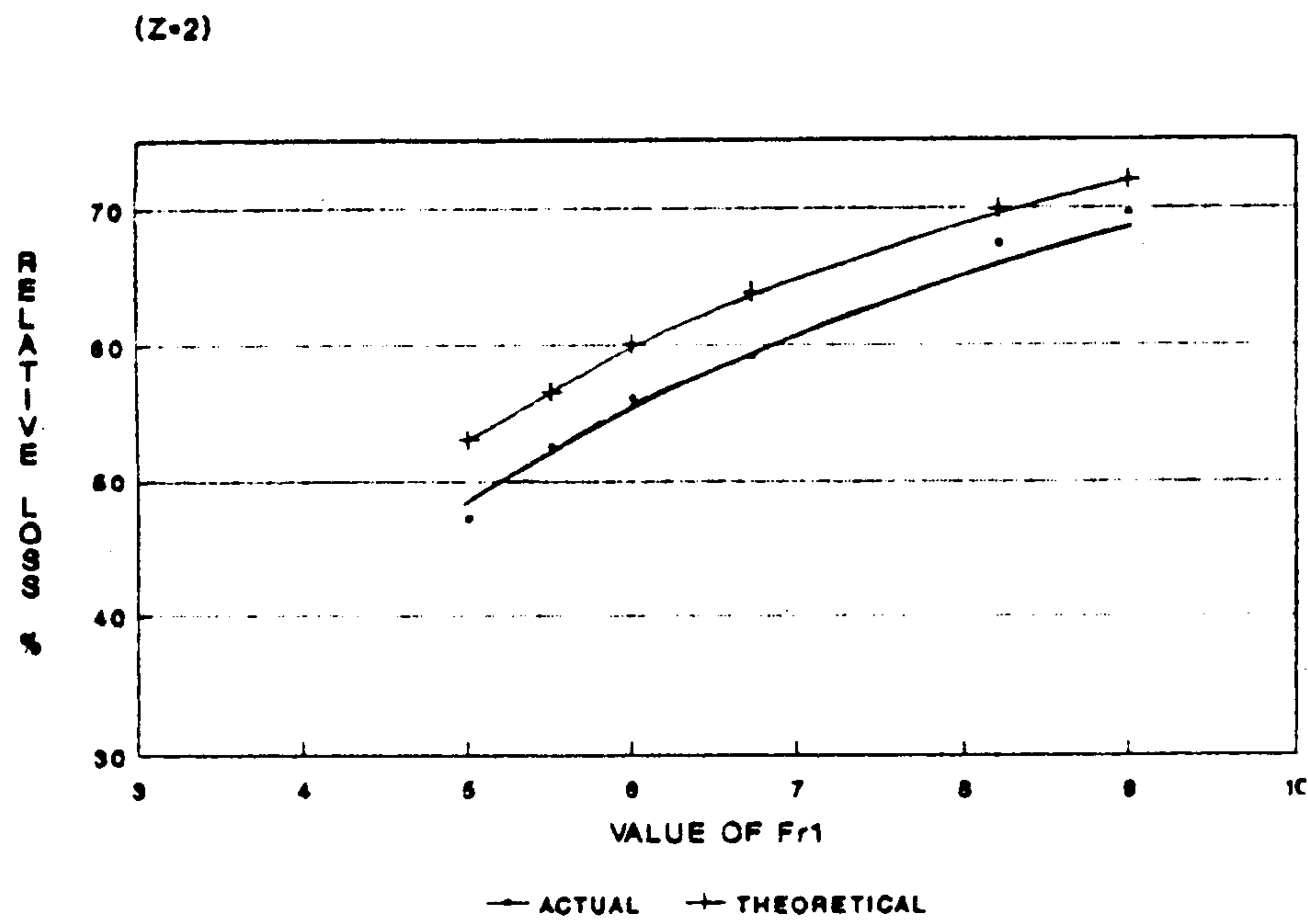
در تساوی فوق قسمت اول سمت چپ تساوی بدلیل اینکه ضریب داخل پرانتز همواره کوچکتر از ۱/۲ می باشد همیشه کوچکتر از قسمت اول سمت راست تساوی است. بنابراین برای برقراری تساوی لازم است که قسمت دوم سمت چپ بزرگتر از قسمت دوم سمت راست باشد. یعنی:

$$\left[ \frac{1}{(BY^2)^2} \right]_{Tra.} > \left[ \frac{1}{(BY^2)^2} \right]_{Rec.} \Rightarrow [BY^2]_{Tra.} < [BY^2]_{Rec.}$$

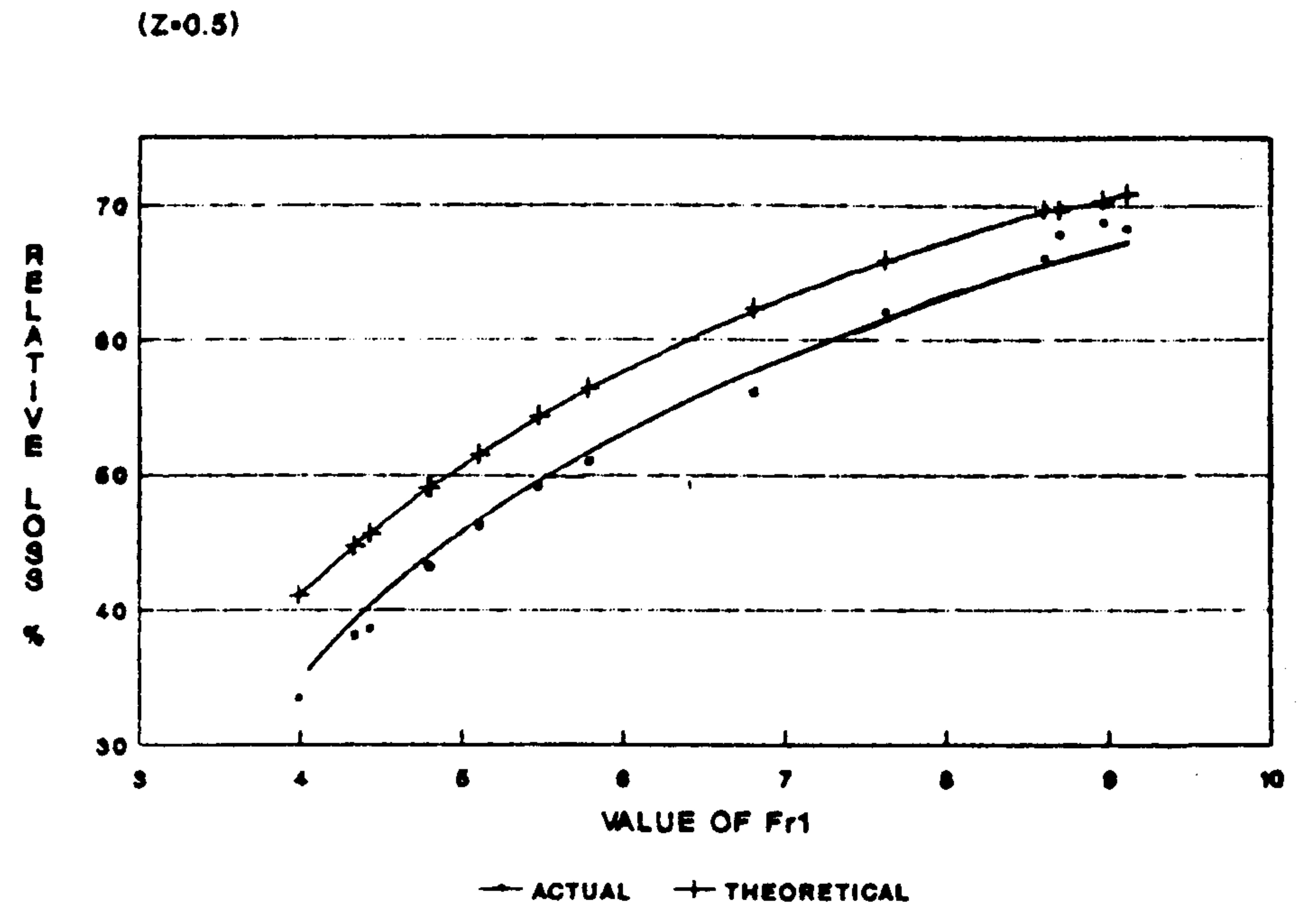
و با:

$$[BY^2]_{Rec.} / [BY^2]_{Tra.} > 1 \Rightarrow \frac{Y2_{Rec.}}{Y2_{Tra.}} > \frac{B}{B'}$$

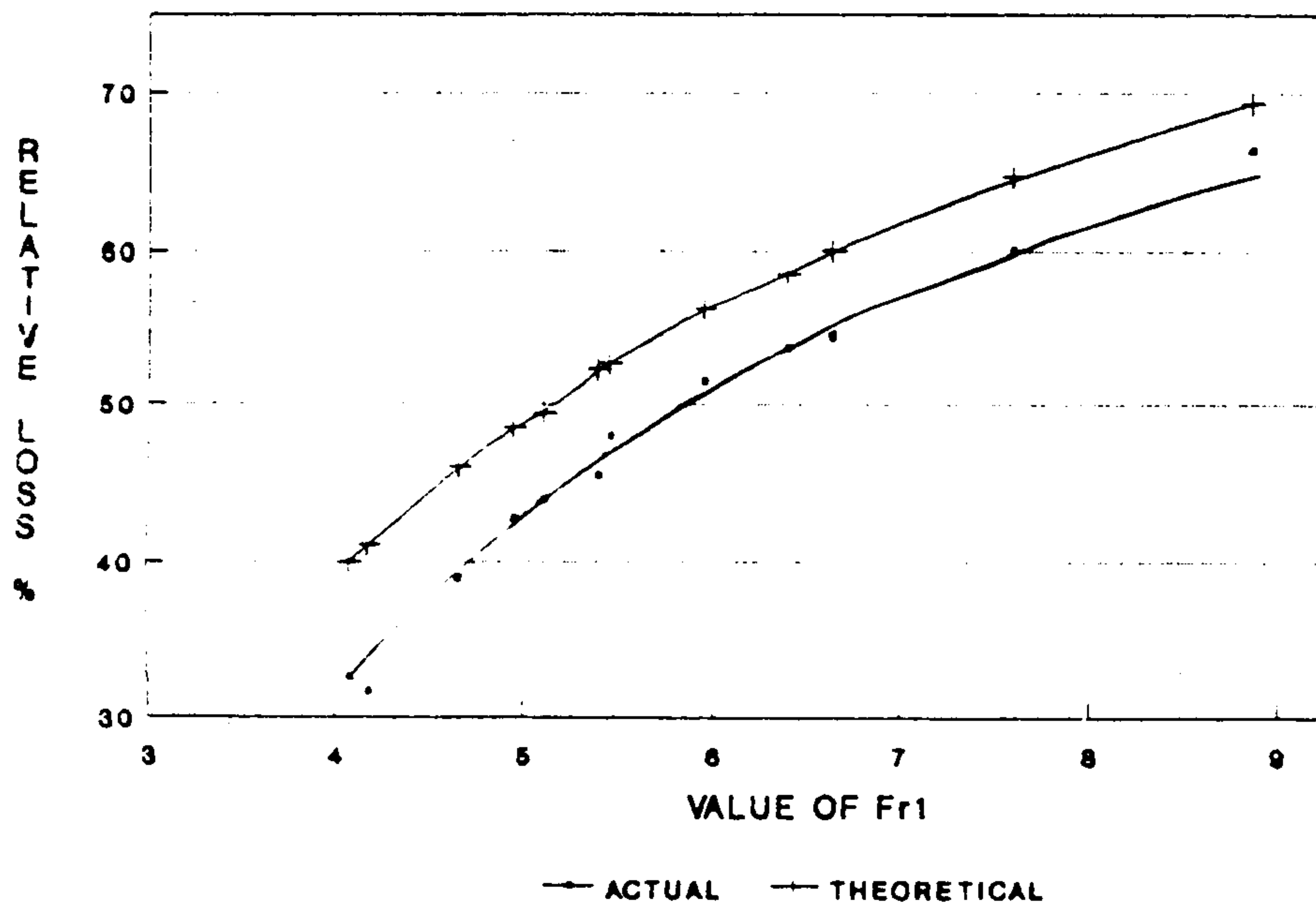
از طرفی همواره  $B' / B > 1$ ،  $B' > B$  می باشد بنابراین:



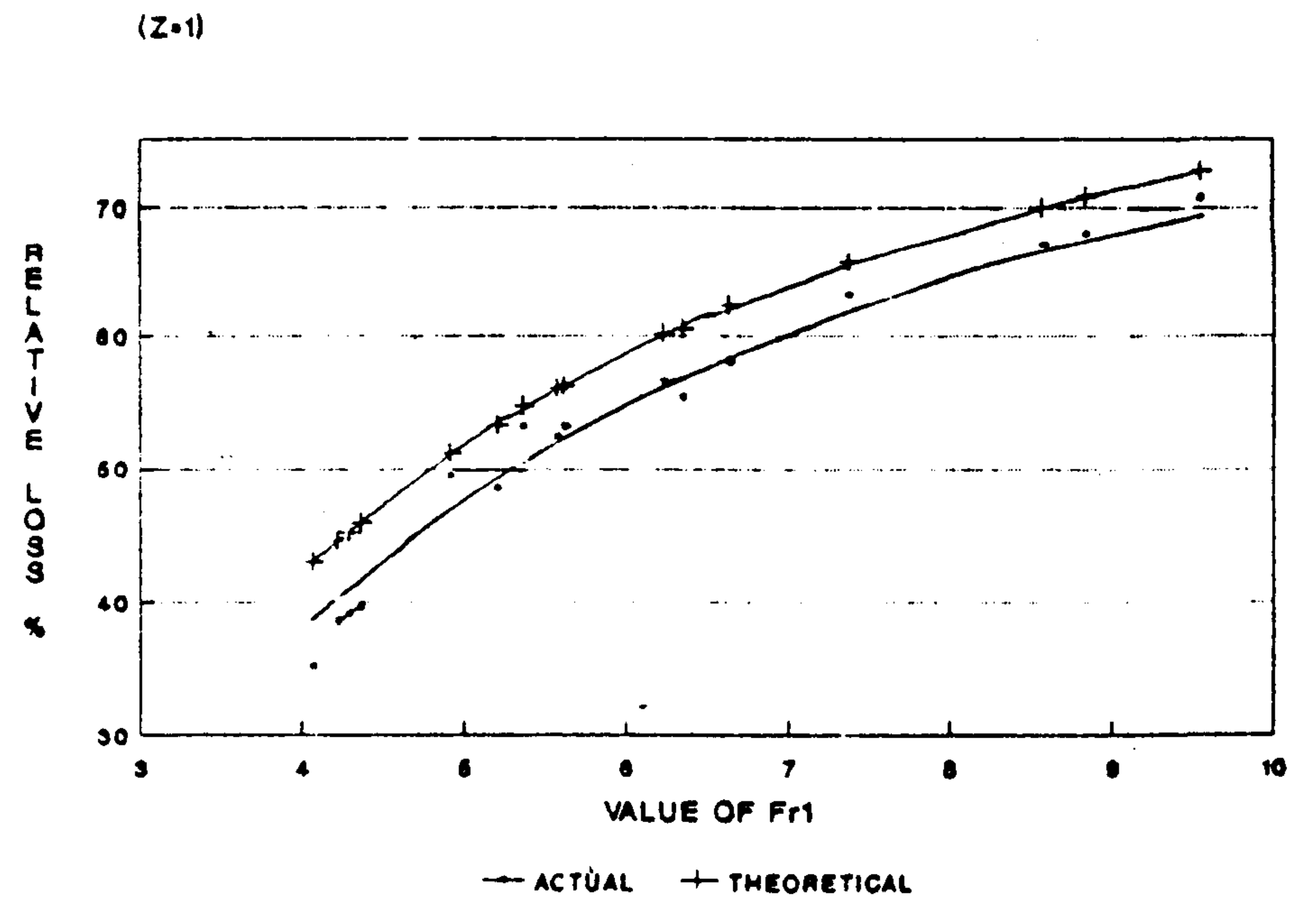
شکل ۱۴ - مقایسه نتایج افت انرژی واقعی با منحنی تئوری در گزینه IV



شکل ۱۱ - مقایسه افت انرژی نسبی واقعی با منحنی تئوری در گزینه I



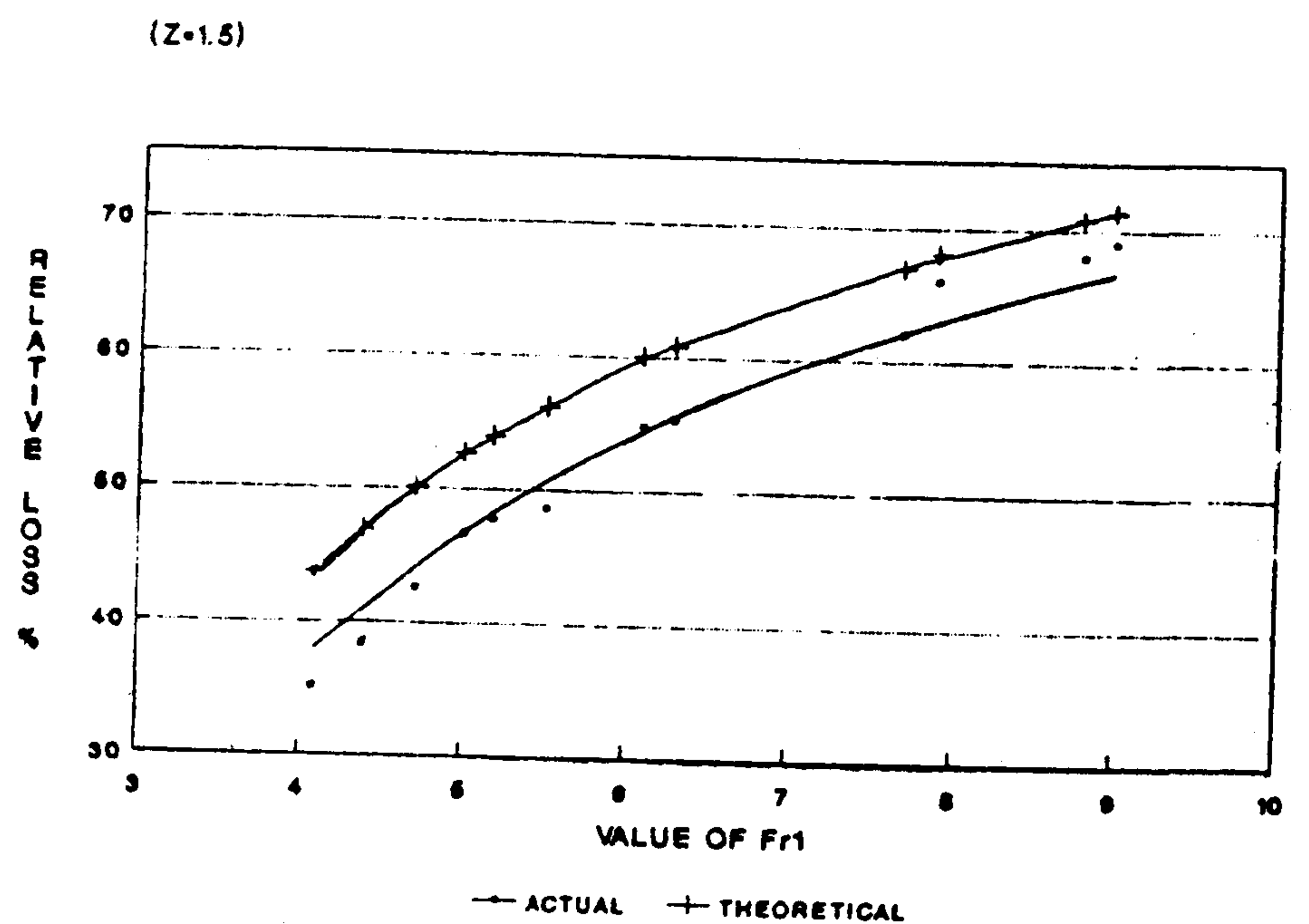
شکل ۱۵ - مقایسه نتایج واقعی افت انرژی با منحنی تئوری در گزینه V



شکل ۱۲ - مقایسه افت انرژی نسبی واقعی با منحنی تئوری در گزینه II

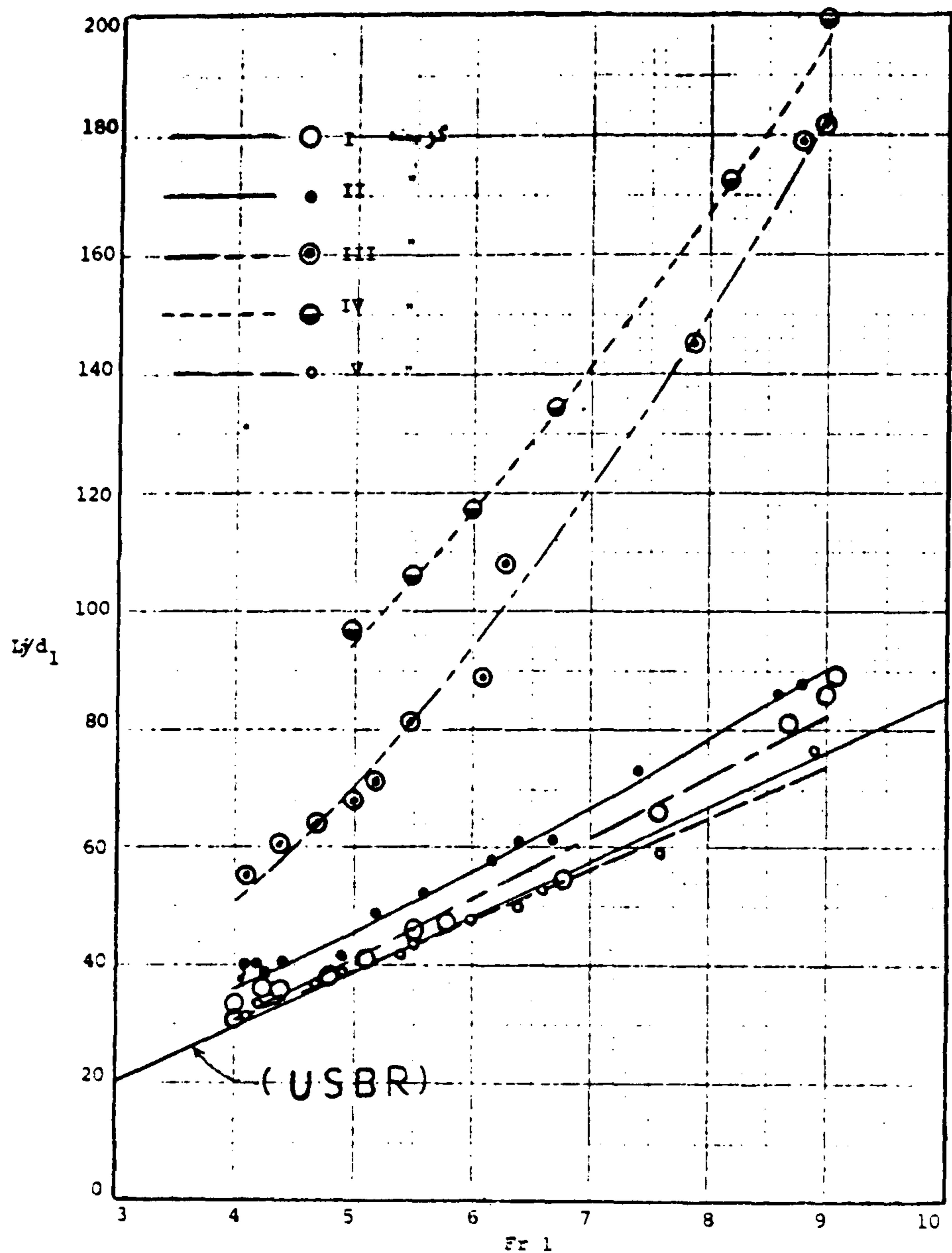
در مجموع، نتایج حاصل از این مطالعه نشان می دهد که جهش هیدرولیکی در مقاطع دوزنقه ای ناپایدارتر از جهش در مقطع مستطیلی می باشد. لیکن با در نظر داشتن مجموعه شرایط فنی و اقتصادی نمی توان یک توصیه کلی در مورد استفاده یا عدم استفاده از این گونه مقاطع ارائه نمود. مقطع دوزنقه ای برای تشکیل جهش دارای ویژگیهایی می باشد که در پاره ای از شرایط بویژه در مقاطع با شیب های جانبی یک و بیشتر بخوبی با مقطع مستطیل رقابت می کند. بعضی از این ویژگیها عبارتند از:

- بدلیل کوچکتر بودن ارتفاع جهش در مقاطع دوزنقه ای در مواردی که تامین عمق لازم پایاب محدودیت داشته باشد استفاده از این مقاطع مناسبتر می باشد.

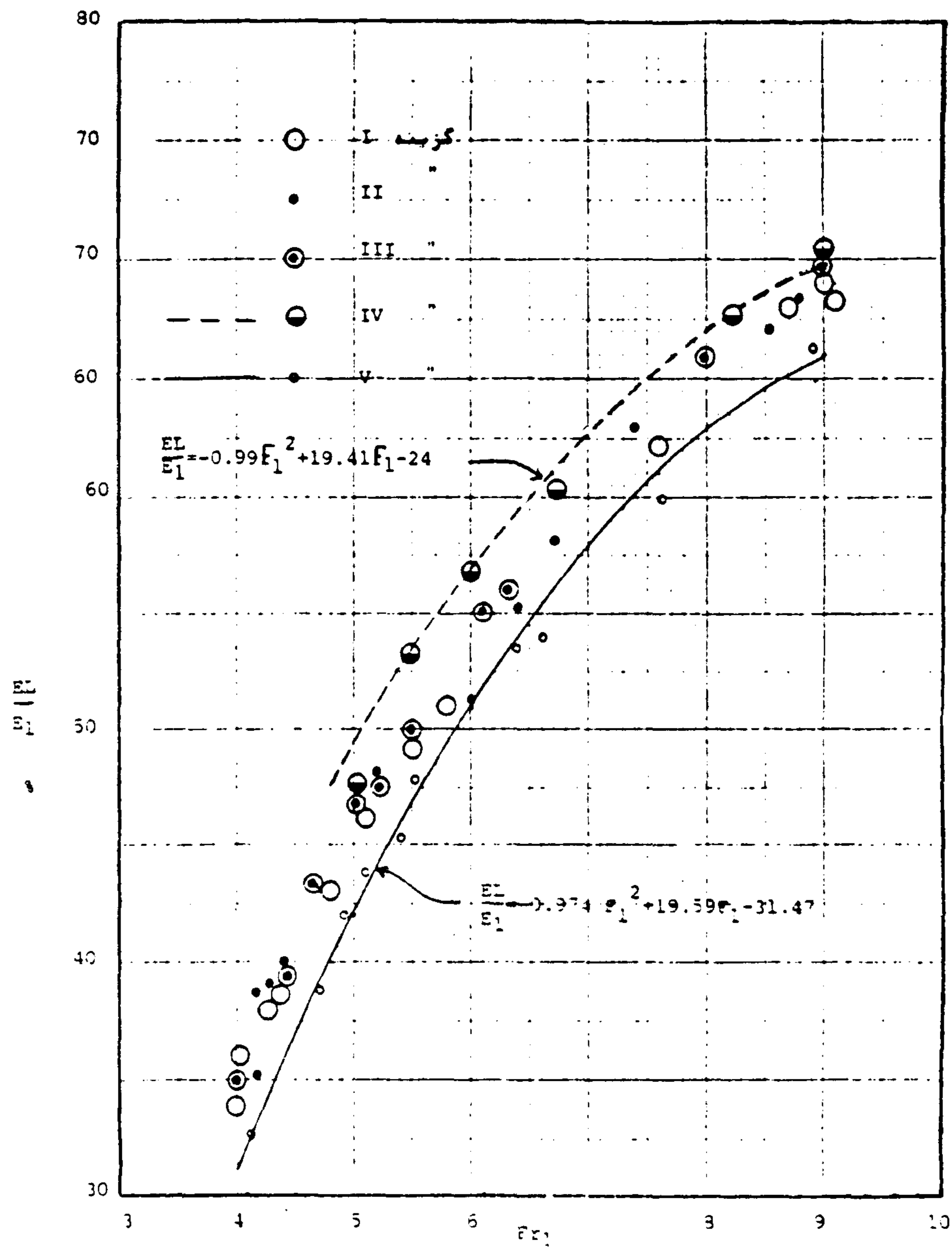


شکل ۱۳ - مقایسه نتایج افت انرژی واقعی با منحنی تئوری در گزینه III





شکل ۱۷ - نسبت طول جهش به عمق اولیه در مقابل اعداد فرود بالادست



شکل ۱۶ - افت انرژی نسبی در مقابل اعداد فرود بالادست

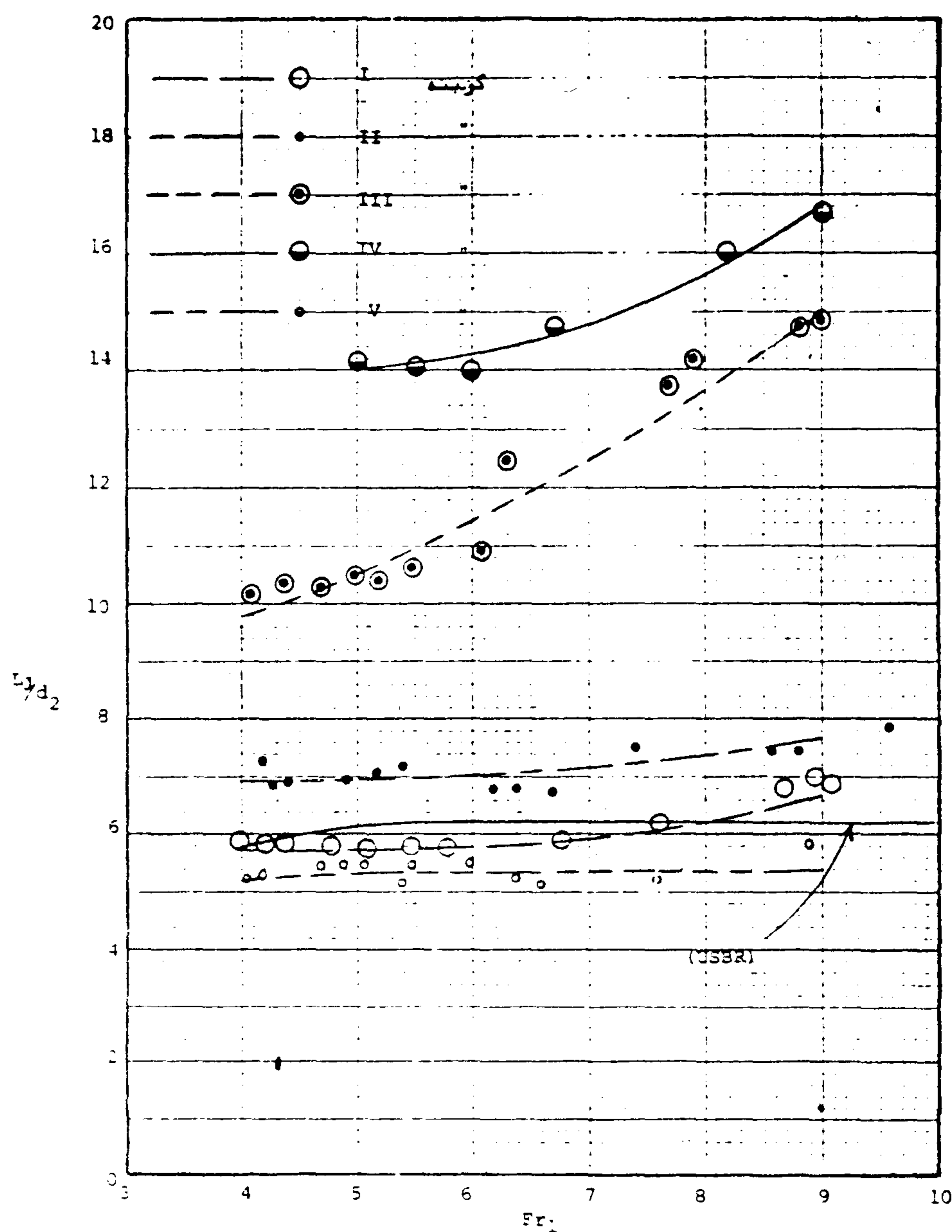
شکل

برخود لازم می دانم از زحمات و راهنماییهای بیدریغ و ارزشمند استاد جناب آقای دکتر حبیب الله بیات در اجرای این مطالعه سپاسگزاری نمایم. همچنین از مدیریت محترم دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس بخاطر تامین هزینه های این تحقیق و مدیریت محترم دانشکده عمران دانشگاه صنعتی امیر کبیر بخاطر تامین امکانات مورد نیاز سپاسگزاری می شود.

- استهلاك انرژی در مقاطع دوزنقه ای بیشتر از مقطع مستطیلی است.  
- اجرای عملیات ساختمانی در مقاطع دوزنقه ای به دلیل عدم نیاز به قالب بندی با سهولت بیشتری انجام می گیرد.

### سپاسگزاری

به مصداق شریفه "من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق"



شکل ۱۸ - نسبت طول جهش به عمق ثانویه در مقابل اعداد فرود بالادست

## REFERENCES

## مراجع مورد استفاده

- ۱ - فرهودی، ج. "روش کلی برای محاسبه بارامترهای مشخصه جهش آبی در حوضچه های آرامش". مجله آب، شماره ۳، سال ۱۳۶۳.
- 2 - Henderson, f.M.1996. "Open channel flow", MC Millan P.Co
- 3 - I. Wao.1991. Ohtsu and Youichi Yasuda " Hydraulic Jump in Sloping Channels" Journal of ASCE, Hydr. Div.Vol.117, No.7,.
- 4 - Kawag.1991., Oshi,N.& Hager , W.H" Classical Hydraulic Jump Length of Rlooor" Jurnal of Hydr.Ressear arch, Vol. 28, No.5,.
- 5 - Massey, B.S.1961. "Hydraulic Jump in Trapezoidal Channels An Improved Method", Water Power , Vol.13,.
- 6 - Peterka, A.J., "Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipatros, USBR.1958.
- 7 - Posey. C.J. & Hesing .P.S.1938. "Hydraulic Jump in . Trapezoidal Channels", Engineering News-Record,.
- 8 - Silvester, R.1938. "Hydraulic Jump in All Shapes of Horizontal Channels", J.of, ASCA, Hydr.Div.
- 9 - Subramanya,K.1982. "Flow in Open Channels" , Mc Graw- Hill, Book Co.

## **Behaviour of Hydraulic Jump in Trapezoidal Sections**

**M.H.OMID**

**Instructor, Department of Irrigation and Reclamation, College of  
Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran.**

**Accepted 19.May 1996.**

### **SUMMARY**

To investigate the behaviour and characteristics of hydraulic jump in trapezoidal sections, for evaluation of technical criterion for design of stilling basins, the tests were conducted on a physical model with a discharge of 3 to 25 lit/sec. The technical factors of trapezoidal sections being considered were : secondary depth ratio, headloss , and length of Jump for side slopes of 0.5,1,1.5 and 2.

The results of tests showed that the secondary depth ratio is less for trapezoidal sections compared to rectangular sections, and its value decreases by reduction in the side slopes . The head loss in trapezoidal sections is inversly proportional to side slope ,and the jump length increases by reduction in the side slopes.