

## شعاع حفاظتی و محاسبات محدوده حفاظت

### بهمن تمندهر و

ابتدا مواردی را که لازم است درباره آنها اطلاعاتی داشته باشیم تا بتوانیم مفاهیم حفاظتی را به خوبی درک کنیم، بیان نموده و سپس به محاسبات شعاع حفاظتی می پردازیم.

### انواع صاعقه گیر از نظر نحوه عملکرد

صاعقه گیرها از نظر نحوه عملکرد، به دو نوع اصلی تقسیم می شوند:

**صاعقه گیرهای غیرفعال (Passive):** صاعقه گیرهایی که بر اساس شکل و خاصیت فیزیکی متضمن تشدید پدیده‌هایی مثل اثر میله نوک تیز (*Point Effect*) می شوند و در این مسیر هیچ عامل تشدید کننده‌ای غیر از شکل خاص آنها وجود ندارد، صاعقه گیرهای غیرفعال نام دارند. مثل میله ساده فرانکلین، صاعقه گیرهای ژوپیترا، جوجه تیغی و ترمینال سیم هوایی (سیم‌های معلق).

**صاعقه گیرهای فعال (Active):** صاعقه گیرهایی که به واسطه انرژی دریافت شده از منبع خارجی و یا تولید شده بصورت خودکفا، اثر پدیده‌هایی مثل *Point Effect* یا *Corona Effect* را تشدید می نماید، صاعقه گیرهای فعال نام دارند. این صاعقه گیرها تنوع وسیعی دارند. از انواع آنها می توان به انواع اتمی، بادی، خورشیدی، برقی، خازنی و ... را نام برد. صاعقه گیر فعال از نظر نیاز به انرژی به دو گروه تقسیم می شوند:

#### - وابسته

آنهايي که برای فعال شدن به یک منبع خارجی مثل باتری یا برق شهر محتاج هستند و بدون آن نمی توانند کار کنند، صاعقه گیر نوع وابسته می گویند.

#### - خودکفا

گروهی که انرژی را توسط یک مکانیسم داخلی از محیط اطراف دریافت می نمایند، صاعقه گیر نوع خودکفا می گویند.

### زمان فعال سازی

زمان فعال سازی یا *Advanced Time* که با  $\Delta T$  شناخته می شود عبارت است از زمانی که صاعقه گیر سریعتر از یک برقگیر معمولی عمل می کند. با توجه به اینکه سرعت جریان بالارونده در حدود یک میکروثانیه در متر ( $1 \text{ m}/\mu\text{S}$ ) می باشد، لذا پارامتر دیگری به نام  $\Delta L$  مطرح می گردد که عبارت است از شعاع گوی یونیزه شونده.

$$V = \frac{\Delta L}{\Delta T} = 1 \text{ m}/\mu\text{S} \rightarrow \Delta L = V \times \Delta T : \text{if } (\Delta T = 30\mu\text{S}) \rightarrow \Delta L = 1 \text{ m}/\mu\text{S} \times 30\mu\text{S} \rightarrow \Delta L = 30 \text{ m}$$

بر اساس مطالب فوق صاعقه گیری با زمان فعال سازی ۳۰ میکروثانیه، دارای شعاع گوی یونیزه شونده ۳۰ متری می باشد.

### کلاس حفاظتی صاعقه

کلاس حفاظتی عبارت است از تعیین محدوده‌ای که در آن احتمال برخورد صاعقه مستقیم، مطابق با درصد معینی می باشد. براساس استاندارد *NF C 17-102*، سه کلاس حفاظتی در نظر گرفته می شود. کلاس یک (I) که بیشترین سطح حفاظتی را دارد، در آن ۹۸ درصد حفاظت در نظر گرفته می شود و برای کلاس‌های دو (II)، مقدار ۹۵ درصد و برای کلاس سه (III)، مقدار ۹۰ درصد محاسبه شده است. البته در استاندارد جدید *CTE SU 8*، این ۳ کلاس به چهار کلاس افزایش یافته و برای کلاسهای

یک تا چهار به ترتیب ۹۸، ۹۵، ۹۰ و ۸۰ درصد حفاظت در نظر گرفته می‌شود. باید یادآور شد که کلاس حفاظتی نکته دیگری را نیز بیان می‌کند و آن توانایی تامین جریان توسط صاعقه است. رابطه جریان صاعقه و شعاع گوی غلتان براساس استاندارد فرانسوی *NF C 17-102* بصورت زیر می‌باشد:

$$D = 10 \times I^{2/3}$$

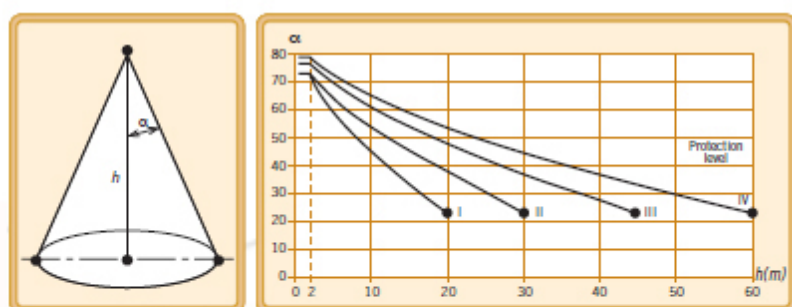
براساس اندازه‌گیری‌های انجام شده، باید عنوان شود که برای کلاس یک (I)، شعاع ۲۰ متر و برای کلاس دو (II)، شعاع ۳۰ متر و برای کلاس سه (III)، شعاع ۴۵ متر و برای کلاس چهار (IV)، شعاع ۶۰ متر در نظر گرفته می‌شود. در فرمول فوق ضریبی با توجه به شرایط منطقه افزوده می‌شود که محاسبات براساس این ضرایب انجام شده است.

### محاسبه شعاع حفاظتی به روش غیرفعال<sup>۱</sup> (صاعقه‌گیرهای پسیو)

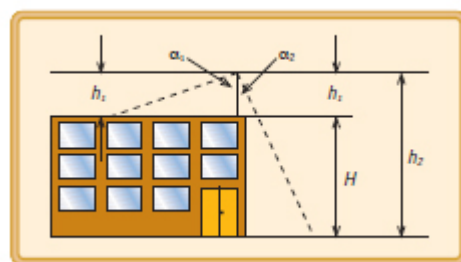
بر اساس استاندارد *IEC 62305* برای تعیین شعاع حفاظتی روش‌های مختلفی وجود دارد که مشخصات کلاس حفاظتی، ارتفاع سازه، نوع برقگیر (اکتیو یا پسیو) در تعیین آن در نظر گرفته می‌شوند. روش‌های حفاظت<sup>۲</sup> عبارتند از:

#### ۱- مخروط فرانکلین یا روش زاویه<sup>۳</sup>

در این روش محدوده‌ای مخروطی بر اساس جدول و شکل زیر که زاویه راس آن بستگی به ارتفاع سازه دارد، ایجاد می‌شود که محدوده حفاظتی به حساب می‌آید. همانطور که مشاهده می‌کنید، این روش بیان شده، برای سازه‌های مرتفع‌تر از ۲۰ متر برای کلاس یک (I) پاسخگو نیست.



میله‌های برقگیر باید در بلندترین نقاط ساختمان به نحوی قرار گیرند که گوشه‌های ساختمان به کلی محافظت شوند. در این حالت بر اساس ارتفاع نوک برقگیر، شعاع حفاظتی در پای ساختمان را نتیجه می‌دهد.



PROTECTION LEVEL	R(m)	h(m)			
		20	30	45	60
I	20	25	*	*	*
II	30	35	25	*	*
III	45	45	35	25	*
IV	60	55	45	35	25

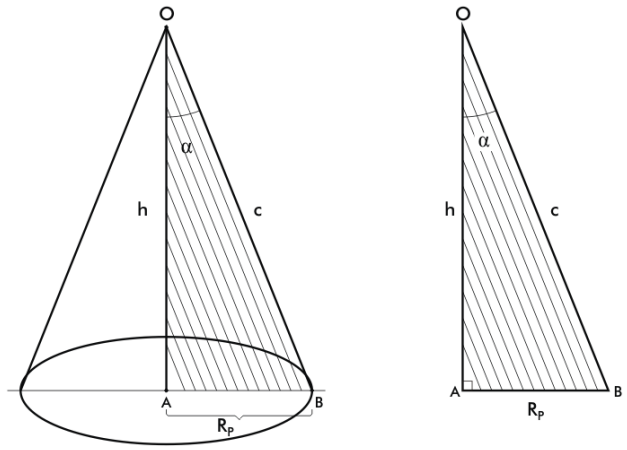
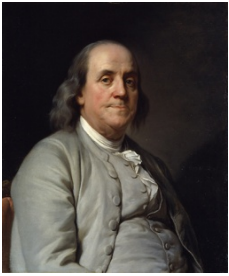
میله‌های ساده فرانکلینی، اولین واحد جذب که توسط فرانکلین<sup>۴</sup> پیشنهاد گردید، میله‌های ساده بودند که باعث می‌شدند ضربه مستقیم صاعقه، دور از ساختمان، متناسب با اندازه طول میله‌ها، اتفاق بیفتد. شعاع حفاظتی این صاعقه‌گیرهای ساده در کلاس-های حفاظتی و بر اساس تئوری زاویه، محاسبه می‌گردد.

#### 1. Passive

#### 2. Protection Methods

#### 3. Angle Methods

۴. بنجامین فرانکلین (به انگلیسی Benjamin Franklin متولد ۱۷ ژانویه ۱۷۰۶ - درگذشته ۱۷ آوریل ۱۷۹۰) یکی از پدران بنیانگذار ایالات متحده است. فرانکلین یک دانشمند، نویسنده برجسته و چاپخانه‌دار، طنزنویس، نظریه‌پرداز سیاسی، سیاستمدار، رئیس پست، مخترع، فعال مدنی و دیپلمات بود. به عنوان یک دانشمند، او یکی از چهره‌های بزرگ در روشننگری آمریکا و تاریخ فیزیک برای کشف‌هایی که کرده بود و نظریه‌هایش در مورد برق است. میله برقگیر، عینک دو کانونی، اجاق گاز



$$c^2 = h^2 + R_p^2 \rightarrow R_p^2 = c^2 - h^2$$

به علت اینکه مقدار C مجهول است نمی توان  $R_p$  را محاسبه کرد. لذا از فرمول زیر استفاده می شود:

$$\tan(\alpha) = \frac{R_p}{h} \rightarrow R_p = h \cdot \tan(\alpha)$$

$R_p$  شعاع حفاظتی میله ساده

$h$  طول میله ساده

$\alpha$  زاویه شعاع حفاظتی

زاویه شعاع حفاظتی ( $\alpha$ ) و تعیین سطح و کلاس حفاظتی

■ در صورتیکه زاویه شعاع حفاظتی برابر ۳۰ درجه ( $\alpha = 30^\circ$ ) باشد، میزان شعاع حفاظتی  $R_p$  برابر  $0.58h$  است.

$$R_p = h \cdot \tan(\alpha) \rightarrow R_p = h \cdot \tan(30^\circ) \rightarrow R_p = h \cdot (0.58) \rightarrow R_p = 0.58h$$

این حالت را کلاس حفاظتی یک [I] می گویند و سطح حفاظت، *High Protection* می باشد.

■ در صورتیکه زاویه شعاع حفاظتی برابر ۴۵ درجه ( $\alpha = 45^\circ$ ) باشد، میزان شعاع حفاظتی  $R_p$  برابر  $h$  است.

$$R_p = h \cdot \tan(\alpha) \rightarrow R_p = h \cdot \tan(45^\circ) \rightarrow R_p = h \cdot (1) \rightarrow R_p = h$$

این حالت را کلاس حفاظتی [II] می گویند و سطح حفاظت، *Medium Protection* می باشد.

■ در صورتیکه زاویه شعاع حفاظتی برابر ۶۰ درجه ( $\alpha = 60^\circ$ ) باشد، میزان شعاع حفاظتی  $R_p$  برابر  $1.73h$  است.

$$R_p = h \cdot \tan(\alpha) \rightarrow R_p = h \cdot \tan(60^\circ) \rightarrow R_p = h \cdot (1.73) \rightarrow R_p = 1.73h$$

این حالت را کلاس حفاظتی [III] می گویند و سطح حفاظت، *Standard Protection* می باشد.

همانطوری که ملاحظه می شود، کلاس حفاظت با شعاع حفاظتی، رابطه معکوس دارد و بالطبع برای تدارک کلاس حفاظت بالاتر باید هزینه بیشتری پرداخت کرد. لازم به ذکر است که تعیین کلاس حفاظت، با توجه به موقعیت محل سایت، نوع کاربری آن، ابعاد ساختمان و ... انجام خواهد شد.

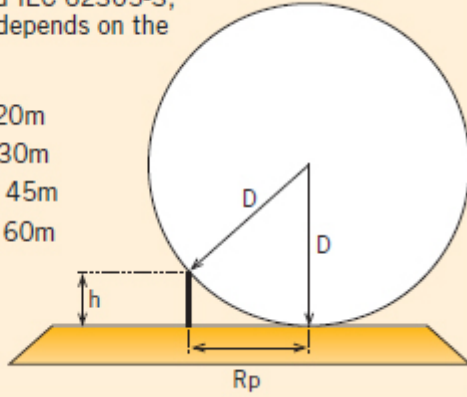
## ۲- روش گوی غلطان<sup>۵</sup>

در این روش گوی هایی با شعاع هایی متناظر با کلاس های حفاظتی در نظر گرفته می شود (این شعاع  $D$  عبارت است از فاصله آخرین استپ از لیدر پائین رونده) که شعاع حفاظتی، محدوده زیر منحنی نقاط تلاقی کره با نوک برقگیر و زمین می باشد (احتمال اصابت صاعقه تنها به نقاطی وجود دارد که با کره تلاقی دارند).

فرانکلین، کیلومتر شمار اتومبیل و شیشه آرمونیکا از اختراعات او هستند. همچنین او نخستین کتابخانه عمومی در آمریکا و نخستین ایستگاه آتش نشانی پنسیلوانیا را ایجاد کرد.

According to the Standard IEC 62305-3, the rolling sphere radius depends on the protection level:

- Protection Level I:  $D = 20\text{m}$
- Protection Level II:  $D = 30\text{m}$
- Protection Level III:  $D = 45\text{m}$
- Protection Level IV:  $D = 60\text{m}$



وقتی که برقیگر پسیو نصب شد، شعاع حفاظتی بر اساس فرمول زیر محاسبه می گردد:

$$R_p = \sqrt{2 \cdot D \cdot h - h^2}$$

$$R_p = \sqrt{h(2D - h)}$$

اثبات

$$R_p^2 = D^2 - (D - h)^2$$

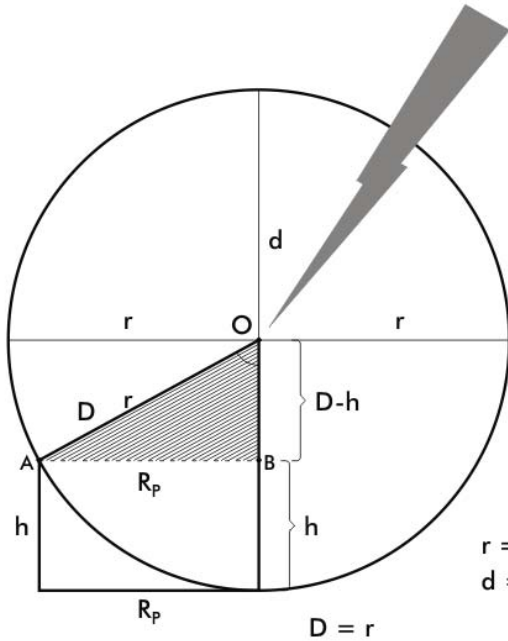
$$(D - h)^2 = D^2 - 2Dh + h^2$$

$$R_p^2 = D^2 - (D^2 - 2Dh + h^2) \rightarrow R_p^2 = D^2 - D^2 + 2Dh - h^2$$

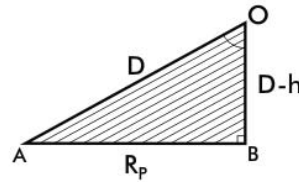
$$R_p^2 = 2Dh - h^2$$

$$R_p = \sqrt{2 \cdot D \cdot h - h^2}$$

$$R_p = \sqrt{h(2D - h)}$$



$r = \text{radius}$   
 $d = \text{diameter}$



$R_p$  شعاع حفاظتی

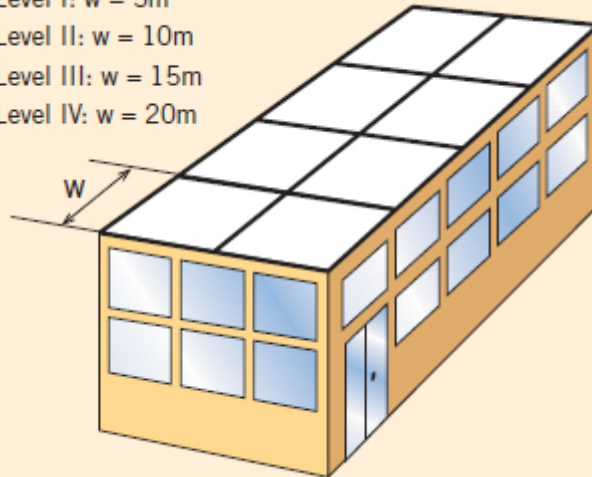
$h$  طول میله ساده

$D$  درجه پیشرفت صاعقه (شعاع گوی غلتان)

### ۳- روش قفس فارادی

در این روش تسمه‌های مسی را بصورت متقاطع به نحوی بر روی سطح خارجی ساختمان نصب می‌کنند که فاصله این تسمه‌های مسی، متناظر با اعداد مرتبط با کلاس حفاظتی است. برای ساختمان‌های مرتفع‌تر از ۶۰ متر، برای ۲۰ درصد دیوارهای بخش بالایی ساختمان نیز این روش اجرا می‌گردد.

- Protection Level I:  $w = 5\text{m}$
- Protection Level II:  $w = 10\text{m}$
- Protection Level III:  $w = 15\text{m}$
- Protection Level IV:  $w = 20\text{m}$



همچنین فاصله بین هادی های میانی از جدول زیر بدست می آید .

Protection Level	Distance between down-conductors
I	10m
II	10m
III	15m
IV	20m

هادی های میانی باید هر نیم متر، توسط بست به جداره ساختمان محکم شوند. به منظور جلوگیری از خسارت های ناشی از اثرات حرارتی عبور جریان صاعقه از هادی میانی طولانی، لازم است هر ۲۰ متر، بخشی به منظور جبران این

اختلاف طول در نظر گرفته شود. برای جلوگیری از صدمات مکانیکی به هادی میانی، حداقل سطح ۲۰ متری پائینی هادی میانی، باید با پوشش فلزی مکعبی پوشانده شود. بخش جداشونده ای برای هر هادی میانی، در نظر گرفته شود تا بتوان مقاومت هر یک از سیستم های ارت را جداگانه اندازه گیری نمود. مقاومت کمتر از ۱۰ اهم برای سیستم ارت توصیه می گردد. به منظور جلوگیری از خوردگی، بخش متصل کننده بخش های غیر همجنس سیستم ارت، توسط اتصالات بیمتال و یا استیل ضدزنگ متصل شوند.

### محاسبه شعاع حفاظتی به روش فعال<sup>۷</sup> (صاعقه گیرهای اکتیو)

طراحی و نصب صاعقه گیرهای یونیزه کننده هوا، براساس استاندارد *NF C 17-102* انجام می گیرد. ریشه این استاندارد نیز همان تئوری گوی غلطان است که در تمامی استانداردها از آن استفاده شده است. با وارد کردن پارامتر  $\Delta L$  در فرمول محاسبات، شعاع پوشش افزایش یافته صاعقه گیر محاسبه می شود.

$$R_p = \sqrt{\Delta h(2D - \Delta h) + \Delta L(2D + \Delta L)}$$

$$R_p = \sqrt{h(2D - h) + \Delta L(2D + \Delta L)}$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 \quad \text{or} \quad \Delta h = h_1 + h_2$$

$R_p$  شعاع حفاظتی صاعقه گیر یونیزه کننده هوا (ESE)<sup>۸</sup>

$h$  ارتفاع واقعی نصب صاعقه گیر نسبت به سطح مورد نظر ( $\Delta h$ )

$D$  درجه پیشرفت صاعقه یا مدت جهش صاعقه در طول مسیر (شعاع جهش صاعقه) - تعیین که براساس درجه حفاظت

$\Delta L$  فاصله ای که یون ها در جهت صاعقه می پیمایند (شعاع گوی یونیزه شونده) - پارامتر متغیر بر حسب نوع و مشخصات صاعقه گیر

لازم به ذکر است که برای ارتفاع کمتر از ۵ متر، شعاع حفاظتی از جدول مربوط به هر صاعقه گیر محاسبه می شود. سطوح حفاظتی در این محاسبات به صورت زیر می باشد:

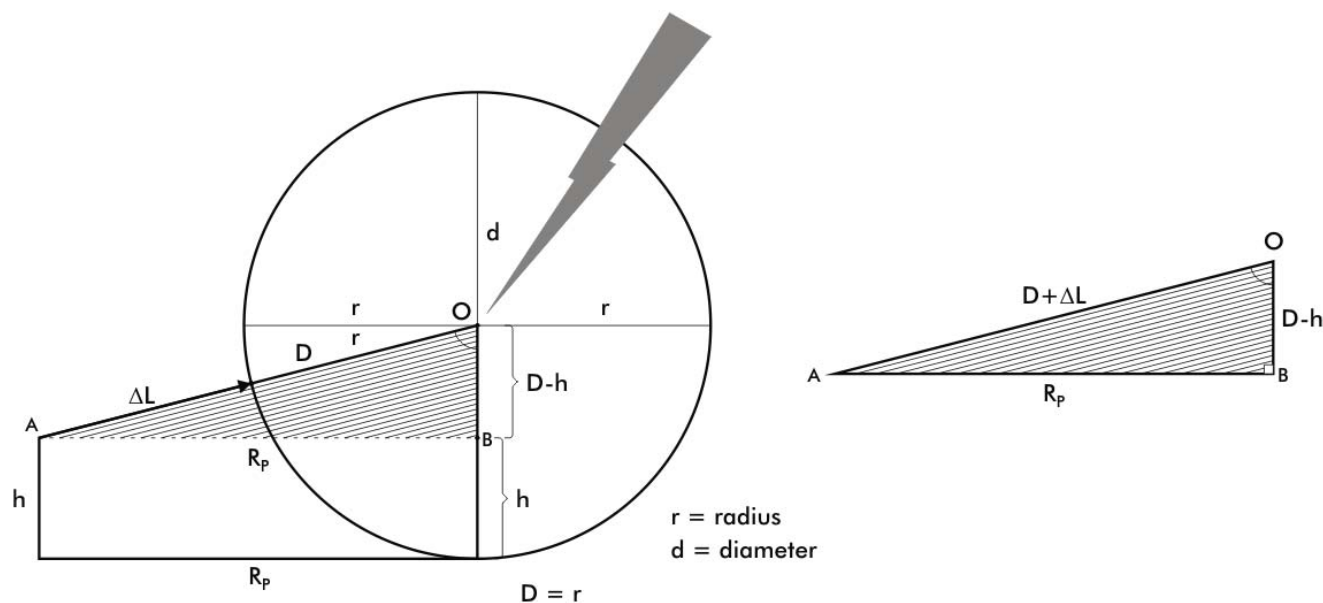
**Protection Level I – D: 20 m, (High Protection)**

**Protection Level II – D: 30 m**

**Protection Level III – D: 45 m, (Medium Protection)**

**Protection Level IV – D: 60 m, (Standard Protection)**

در زیر روش اثبات و تشریح فرمول محاسبه شعاع حفاظتی به روش فعال آورده شده است.



$$R_p^2 = (D + \Delta L)^2 - (D - h)^2$$

$$(D + \Delta L)^2 = D^2 + 2D\Delta L + \Delta L^2$$

$$(D - h)^2 = D^2 - 2Dh + h^2$$

$$R_p^2 = (D^2 + 2D\Delta L + \Delta L^2) - (D^2 - 2Dh + h^2)$$

$$R_p^2 = D^2 + 2D\Delta L + \Delta L^2 - D^2 + 2Dh - h^2$$

$$R_p^2 = 2D\Delta L + \Delta L^2 + 2Dh - h^2$$

$$R_p^2 = \Delta L(2D + \Delta L) + h(2D - h)$$

$$R_p = \sqrt{\Delta L(2D + \Delta L) + h(2D - h)} \quad \text{or} \quad R_p = \sqrt{h(2D - h) + \Delta L(2D + \Delta L)}$$

در صورتی که محل نصب میله صاعقه گیر، مرجع و یا همان سطح مورد نظر نباشد، از  $\Delta h$  استفاده می شود. با توجه به نوع درخواست، یا مجموع ارتفاعها و یا تفاضل آنها محاسبه می گردد.

$$\Delta h = h_1 + h_2 \quad \text{مجموع ارتفاعها}$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 \quad \text{تفاضل ارتفاعها}$$

$$R_p = \sqrt{\Delta h(2D - \Delta h) + \Delta L(2D + \Delta L)}$$