بسم الله الرحمن الرحيم

**دانشکده فنی و مهندسی**

**گروه مهندسی مکانیک**

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی

# حل عددی انتقال حرارت جابجایی طبیعی ترکیبی، بین دو استوانه ی غیر هم مرکز

استاد راهنما

**دکتر علی اکبر دهقان**

استاد مشاور

**دکتر محمدرضا هادیان**

پژوهش و نگارش

**داود نصیری**

**اسفند ماه ۱۳۹۱**

تقدیم به:

تمام کسانی که قلبشان برای اعتلای ایران اسلامی، می تپد.

به امید روزی که شاهد تمدن بزرگ اسلامی، به رهبری امام موعود(عج) باشیم.

**تقدیر و تشکر**

سپاس خدای را عزّوجلّ، که به من توفیق داد تا در راه کسب علم، گام برداشته و بر معرفت خود نسبت به هستی و آفریده های او، بیفزایم.

اکنون که این تحقیق به لطف الهی به پایان رسیده است، بر خود لازم می دانم که از زحمات و مساعدت های استاد ارجمندم، جناب آقای دکتر علی اکبر دهقان، دانشیار دانشکده مکانیک دانشگاه یزد، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم. راهنمایی های کلیدی ایشان، همیشه مسیر تازه ای را به روی بنده گشوده است که راه را از بیراهه تشخیص دهم.

همچنین از استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر محمدرضا هادیان، استادیار دانشکده عمران دانشگاه یزد، که با سعه ی صدر و مشاوره های ارزشمندشان، بنده را در پیمودن این مسیر یاری رساندند، کمال سپاس و قدردانی را دارم.

لازم است از همراهی پدر، مادر و اعضای خانواده ام که شرایط را در خانه برای انجام تحقیق فراهم ساختند، نیز کمال سپاسگزاری را داشته باشم.

در پایان از خداوند، موفقیت همه ی این عزیزان را در طول زندگی خواستارم.

داود نصیری

اسفند ۱۳۹۱

## فهرست مطالب

### فصل اول: مقدمه و پیشینه ی تحقیق


۱-۱. انتقال حرارت .....۲

۱-۲. انتقال حرارت جابجایی .....۲

۱-۳. کاربردهایی از جابجایی طبیعی در استوانه های غیرهم مرکز..... ۵

۱-۴. روش های عددی .....۸

۱-۵. فرمول بندی های مختلف معادلات مومنتوم و انرژی .....۱۰

۱-۶. پیشینه ی تحقیق .....۱۱

۱-۷. تحقیقات تجربی پیرامون انتقال حرارت جابجایی طبیعی بین دو استوانه غیر هم مرکز... ۱۳

۱-۸. تحقیقات عددی پیرامون انتقال حرارت جابجایی طبیعی بین دو استوانه غیر هم مرکز... ۱۷

۱-۹. هدف از این تحقیق و مراحل انجام کار .....۲۰


### فصل دوم : مختصات بایپولار و ایجاد شبکه


۲-۱ مختصات بایپولار .....۲۵

۲-۱-۱. فاکتور مقیاس در مختصات بایپولار ..... ۳۰

۲-۲. تولید شبکه در مختصات بایپولار .....۳۱

## فصل سوم: معادلات و روابط حاکم


۳-۱.مقدمه .....۳۹

۳-۲. معادله ی بقای جرم در مختصات بایپولار .....۳۹

۳-۳ معادلات مومنتوم در مختصات بایپولار .....۴۰

۳-۳-۱. محاسبه لاپلاس بردار سرعت .....۴۰

۳-۳-۲. عبارت گرادیان فشار در معادلات مومنتوم.....۴۳

۳-۳-۳. عبارت نیروی شناوری .....۴۴

۳-۳-۴. مشتق مادی بردار سرعت .....۴۶

۳-۴. معادله ی انرژی .....۴۷

۳-۵. تبدیل معادلات مومنتوم و انرژی به فرم حجم محدود..... ۴۹

۳-۵-۱. محاسبه عبارت چشمه در معادله $\zeta$- مومنتوم ..... ۵۱

۳-۵-۲. محاسبه عبارت چشمه در معادله $\eta$- مومنتوم ..... ۵۲

۳-۵-۳. محاسبه عبارت چشمه در معادله انرژی .....۵۳

۳-۶. بی بعدسازی و گسسته سازی معادلات مومنتوم و انرژی .....۵۴

۳-۶-۱. بی بعدسازی معادلات حاکم .....۵۴

۳-۶-۲. گسسته سازی عبارت چشمه .....۵۶

۳-۷. طرح گسسته سازی اختلاف پیوندی .....۶۵

۳-۸. الگوریتم SIMPLE ..... ۶۶

۳-۸-۱. بدست آوردن معادله ی تصحیح فشار ..... ۶۸

۳-۹. الگوریتم SIMPLER ..... ۷۰

۳- ۱۰. روش ریاضی ..... ۷۳

۳-۹-۱. روش ADI خط به خط ..... ۷۳

۳-۹-۲. ضریب زیر تخفیف ..... ۷۵

۳-۹-۳. همگرایی ..... ۷۶

۳-۱۰. شرایط مرزی ..... ۷۷

## فصل چهارم : نتایج

۴-۱مقدمه ..... ۸۱

۴-۲. تعریف مساله ..... ۸۲

۴-۳. بررسی شبکه و اعتبار سنجی ..... ۸۵

۴-۴. بررسی تاثیر عدد گراشف ..... ۸۹

۴-۴-۱. خطوط همدما و خطوط جریان در گراشف های مختلف ..... ۸۹

۴-۴-۲. تغییرات ضریب انتقال حرارت موضعیو کلی( $\overline{K_{eq}}$ ) در Gr های مختلف ..... ۹۲

۴-۴-۳. توزیع دمای بی بعد در اعداد گراشف مختلف ..... ۹۹

۴-۵. بررسی تاثیر عدم مرکزیت .....۱۰۴

۴-۵-۱. خطوط همدما و جریان در عدم مرکزیت های مختلف .....۱۰۴

۴-۵-۲. تغییرات ضریب انتقال حرارت کلی در عدم مرکزیت های مختلف .....۱۰۷

۴-۶. بررسی تاثیر نسبت شعاع .....۱۱۱

۴-۶-۱. خطوط همدما و خطوط جریان در نسبت های شعاعی مختلف .....۱۱۱

۴-۶-۲. مقادیر $\overline{K_{eq}}$ در نسبت شعاع های مختلف .....۱۱۵

۴-۶-۲. تغییرات دمای بی بعد در نسبت های شعاعی مختلف .....۱۱۷

۴-۷ عدم مرکزیت مایل.....۱۲۰

۴-۷-۱. اعتبارسنجی .....۱۲۲

۴-۷-۲. تغییرات خطوط همدما و خطوط جریان در زوایای مختلف.....۱۲۵

۴-۷-۳. تغییرات ضریب انتقال حرارت متوسط.....۱۲۷

۴-۸. نتیجه گیری نهایی.....۱۲۹

## فصل ۵ : جابجایی طبیعی ترکیبی

۵-۱ مقدمه .....۱۳۳

۵-۲. معادله ی انرژی در مختصات استوانه ای .....۱۳۴

۵-۲-۱ بی بعدسازی معادله ی انرژی .....۱۳۵

۵-۲-۲. اعمال شرایط مرزی ..... ۱۳۸

۵-۲-۲-۱. شرط مرزی دمایی برای مختصات استوانه ای..... ۱۴۰

۵-۲-۲-۲. شرط مرزی دمایی برای مختصات بایپولار ..... ۱۴۲

۵-۳. نتایج ..... ۱۴۴

۵-۳-۱. اعتبار سنجی نتایج ..... ۱۴۵

۵-۳-۲. بررسی تاثیر $K_R$ ..... ۱۴۷

۵-۳-۲. بررسی تاثیر عدد گراشف ..... ۱۵۱

۵-۳-۳. بررسی تاثیر عدم مرکزیت ..... ۱۵۴

۵-۴. نتیجه گیری نهایی..... ۱۵۸

۵-۵. پیشنهادهایی برای ادامه تحقیق ..... ۱۵۹

**پیوست الف** ..... ۱۶۲

**پیوست ب** ..... ۱۷۲

**مراجع** ..... ۱۷۵

## فهرست اشکال

### فصل ۱: مقدمه و پیشینه ی تحقیق

**شکل ۱-۱** چگونگی شکل گیری جابجایی طبیعی بین دو صفحه با دماهای مختلف[1]... ۳

**شکل۱-۲.** نمایی سه بعدی از دو استوانه هم مرکز و غیرهم مرکز..... ۶

**شکل۱-۳.** حفاری چاه های نفت با لوله های حفاری غیر هم مرکز .....۶

**شکل۱-۴.** یک نوع مبدل حرارتی لوله ای ..... ۷

**شکل۱-۵.** ژنراتور و حفاظ اطراف آن.....۷

**شکل۱-۶.** عدم هم مرکزیت عمودی الف-منفی ب-مثبت .....۱۱

**شکل۱-۷.** عدم هم مرکزیت افقی ..... ۱۲

**شکل۱-۸.** وسیله آزمایشگاهی به کار رفته در تحقیق کوهن و همکارانش[3] .....۱۳

**شکل۱-۹.** وسایل آزمایشگاهی به کار رفته در تحقیق حسینی و همکاران[5] .....۱۵

**شکل۱-۱۰.** شماتیکی از مساله مورد تحقیق در فصل ۴(الف) و فصل۵ (ب)..... ۲۲

### فصل ۲ : مختصات بایپولار و ایجاد شبکه

**شکل ۲-۱.** نمایی کلی از مختصات بایپولار..... ۲۵

**شکل ۲-۲.** جزییات مختصات بایپولار ..... ۲۶

**شکل ۲-۳.** مولفه های مختصات بایپولار..... ۲۷

**شکل ۲-۴**. عدم مرکزیت و چگونگی محاسبه ی آن..... ۲۹

**شکل۲-۵**. شبکه بندی با کمک مولفه های مختصات بایپولار ..... ۳۲

**شکل۲-۶** چگونگی شبکه بندی در مختصات بایپولار..... ۳۴

**شکل ۲-۷**. شبکه ی جابجاشده و حجم های کنترل اسکالر و سرعت، از نمای نزدیک .۳۴

**شکل۲-۸**. شبکه ی جابجاشده براساس مولفه های مختصات بایپولار ..... ۳۵

## فصل ۳: معادلات و روابط حاکم

**شکل۳-۱**. جهت نیروی گرانش نسبت به دو استوانه غیر هم مرکز .....۴۵

**شکل۳-۲**. حجم کنترل دو بعدی گره P ..... ۵۷

**شکل۳-۳**. شبکه براساس مولفه های مختصات بایپولار .....۶۲

**شکل۳-۴**. الگوریتم SIMPLER [13] .....۷۲

**شکل۳-۵** حل خط به خط معادلات ماتریسی با روش ADI در یک شبکه ی دلخواه.. ۷۱

## فصل ۴: نتایج

**شکل ۴-۱**. چگونگی محاسبه ی ضریب انتقال حرارت متوسط..... ۸۴

**شکل ۴-۲**. شبکه بندی در راستای r و $\varphi$ ..... ۸۵

**شکل ۴-۳.** تغییرات Keq موضعی در دو استوانه ی هم مرکز با نسبت شعاعی 2.6 ،
Ra= 5000 ، Pr=0.706 و مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج تجربی[3] ..... ۸۶
**شکل ۴-۴.** مقایسه ی خطوط همدما برای دو استوانه با نسبت شعاعی 2.6 و
Ra= 49300 در عدم مرکزیت های مختلف (a).E=0 , E= 0.625(b) و (c)
E= -0.625 (سمت راست) و مقایسه آن با نتایج تجربی[3] (سمت چپ).....۸۷
**شکل ۴-۵.** توزیع دمای بی بعد در فاصله ی بین دو استوانه غیر هممرکز با نسبت شعاعی
2.6 ، عدم مرکزیت0.623- =E و Ra=49300 در زوایای مختلف و مقایسه ی آن با
نتایج تجربی[3] .....۸۸
**شکل ۴-۶.** توزیع خطوط همدما و خطوط جریان در گراشف های مختلف، بین دو استوانه
با نسبت شعاعی 2.6 و عدم مرکزیت های(a) E= 0.625 و (b)0.625 - =E .....۹۱
**شکل۴-۷.** توزیع Keq بر حسب زاویه ی φ در گراشف های مختلف بر روی استوانه های
داخلی(a) و خارجی(b) با نسبت شعاعی 2.6 و عدم مرکزیت 0.625- =E . ..... ۹۳
**شکل۴-۸.** توزیع Keq بر حسب زاویه ی φ در گراشف های مختلف بر روی استوانه های
داخلی(a) و خارجی(b) با نسبت شعاعی 2.6 و عدم مرکزیت 0.625 =E .....۹۶
**شکل۴-۹.**توزیع Keq average در گراشف ها و عدم مرکزیت های مختلف..... ۹۸
**شکل۴-۱۰.** توزیع دمای بی بعد سیال بین دو استوانه با نسبت شعاع 2.6 و عدم مرکزیت

E= -0.625 در گراشف های مختلف .....۹۹

**شکل۴-۱۱**. توزیع دمای بی بعد سیال بین دو استوانه با نسبت شعاع 2.6 و عدم مرکزیت E= 0.625 در گراشف های مختلف.....۱۰۲

**شکل ۴-۱۲**. خطوط همدما و جریان در عدم مرکزیت های مختلف و برای نسبت شعاعی 2.6 و عدد گراشف Gr=10000 ..... ۱۰۶

**شکل۴-۱۳**. نمودار Keq average بر حسب عدم مرکزیت در گراشف های مختلف برای نسبت شعاعی 2.6.....۱۰۷

**شکل۴-۱۴**. تغییرات $\frac{\overline{K_{eq}}\big)_E}{\overline{K_{eq}}\big)_{E=0}}$ در اعداد گراشف مختلف وبرای نسبت شعاعی 2.6 .. ۱۱۰

**شکل۴-۱۵**. خطوط همدما و خطوط جریان در عدم مرکزیت 0.625 و نسبت شعاع های مختلف (Gr = 50000) .....۱۱۱

**شکل۴-۱۶**. خطوط همدما و خطوط جریان در عدم مرکزیت 0.625 - و نسبت شعاع های مختلف (Gr = 50000) .....۱۱۳

**شکل۴-۱۷**. خطوط همدما و خطوط جریان در حالت هم مرکزی(E= 0) و در نسبت شعاع های مختلف (Gr = 50000) .....۱۱۴

**شکل۴-۱۸**. تغییرات Keq average بر حسب گراشف در نسبت شعاع های مختلف و در عدم مرکزیت های (a)0.625 و (b) -0.625 ..... ۱۱۶

**شکل۴-۱۹.** تغییرات دمای بی بعد در عرض حلقه در نسبت های شعاعی مختلف و برای زاویه های $\varphi = 0$(a)، $\varphi = 90$(b) ،$\varphi$=180(c) در $Gr = 5\times104$ ..... ۱۱۸

**شکل۴-۲۰.** چرخش بردار گرانش در زاویه ی دلخواه $\alpha$ ..... ۱۲۰

**شکل ۴- ۲۱.** خطوط همدما برای دو استوانه با نسبت شعاعی 2.36 و عدم مرکزیت های افقی مختلف در $Ra = 45900$ و مقایسه ی آن با نتایج تجربی[4] .....۱۲۳

**شکل ۴ -۲۲.** خطوط جریان در حال هم مرکز و عدم مرکزیت افقی$E= 0.25$ در $Ra=$ 45900 و برای دو استوانه با نسبت شعاعی 2.36 در مقایسه با نتایج تجربی[17] ... ۱۲۴

**شکل۴-۲۳.** خطوط همدما و خطوط جریان برای نسبت شعاعی 2.6 و عدم مرکزیت 0.5 در $Gr = 105$ و در زوایای مختلف $\alpha$;0(a) 45(b) 90(c) 135(d) 180 (e) ..... ۱۲۶

**شکل ۴-۲۴ .** مقادیر Keq average بر حسب زاویه قرارگیری استوانه ی داخلی($\alpha$) در اعداد گراشف مختلف، نسبت شعاعی2.6 و عدم مرکزیت$E = 0.5$ ..... ۱۲۸

## فصل ۵ : جابجایی ترکیبی

**شکل۵-۱.** مش بندی جداره استوانه داخلی در مختصات استوانه ای و نمایی بزرگ شده از آن .....۱۳۶

**شکل۵-۲.** نمایی کلی از مسئله ی مورد بررسی در این فصل(الف) و مش بندی در دو مختصات استوانه ای و بایپولار(ب) ..... ۱۳۹

**شکل۵-۳.** تعیین شرط مرزی دمایی برای مرز بیرونی جداره استوانه داخلی .....۱۴۱

**شکل۵-۴.** تعیین شرط مرزی دمایی برای مرز داخلی استوانه خارجی.....۱۴۳

**شکل۵-۵.** خطوط همدما و خطوط جریان در گراشف های مختلف و برای KR= 100000 و حالت بدون جداره، در عدم مرکزیت 0.625 - ..... ۱۴۶

**شکل۵-۶.** خطوط همدما و خطوط جریان برای KRهای مختلف، در عدم مرکزیت 0.625- و ضخامت جداره 0.25 و Gr= 50000 ..... ۱۴۸

**شکل۵-۷.** توزیع دمای بی بعد در جداره ی استوانه داخلی و فضای بین دو استوانه در زوایای مختلف در Gr= 50000 ، E= -0.625 و ضخامت 0.25..... ۱۴۹

**شکل۵-۸.** تغییرات ضریب انتقال حرارت کلی بر حسب گراشف در KRهای مختلف و عدم مرکزیت 0.625- و ضخامت های 0.1 و 0.25 ..... ۱۵۲

**شکل ۵-۹.** تغییرات ضریب انتقال حرارت کلی( $\overline{K_{eq}}$ ) بر حسب گراشف در KRهای مختلف و عدم مرکزیت 0.625 و ضخامت های 0.1 (a) و 0.25(b) ..... ۱۵۵

**شکل۵-۱۰.** خطوط همدما و خطوط جریان برای عدم مرکزیت های مختلف، در KR= 0.1 و ضخامت جداره 0.25 و Gr= 50000 ..... ۱۵۵

**شکل۵-۱۱.** تغییرات بر حسب عدم مرکزیت در گراشف های مختلف. ضخامت استوانه داخلی 0.25 و KR= 1 ..... ۱۵۶

## فهرست جداول

**جدول۱-۱.** مقادیر n و A در رابطه ی (۱-۲) [5] .....۱۵

**جدول۳-۱.** شکل گسسته شده معادلات مومنتوم و انرژی..... ۶۴

**جدول۳-۲.** مقادیر ضرایب نفوذ و جابجایی در معادلات مومنتوم وانرژی..... ۶۴

**جدول۳-۳.** ضرایب گره های مجاور بر اساس طرح هیبرید..... ۶۶

**جدول۳-۴.** مقادیر ضرایب معادله تصحیح فشار..... ۶۶

**جدول۳-۵.** مقادیر ضرایب معادله فشار..... ۷۱

**جدول۴-۱.** ضریب انتقال حرارت متوسط برای دو استوانه هم مرکز به نسبت شعاعی 2.6 در اعداد رایلی مختلف و مقایسه با نتایج تجربی[18] ..... ۸۹

**جدول۴-۲.** توزیع Keq average در گراشف ها و عدم مرکزیت های مختلف..... ۹۸

**جدول۴-۳.** مقادیر Keq average در عدم مرکزیت های مختلف(Pr=0.7) و نسبت شعاعی2.6..... ۱۰۸

**جدول۴-۴.** مقادیر Keq average در نسبت شعاع های مختلف..... ۱۱۶

**جدول۴-۵** . مقادیر Keq average در زوایای $\alpha$ و اعداد گراشف مختلف، نسبت شعاعی2.6 و عدم مرکزیت E = 0.5 ..... ۱۲۸

**جدول ۵-۱.** مقادیر Keq average در در گراشف های مختلف و برای KR= 100000 و حالت بدون جداره، در عدم مرکزیت 0.625 - .....۱۴۷

**جدول۵-۲.** تغییرات ضریب انتقال حرارت کلی بر حسب گراشف در KRهای مختلف و عدم مرکزیت 0.625- و ضخامت های 0.1 و 0.25 .....۱۵۲

## فهرست علائم

A : مساحت

a : ضریب مربوط به معادلات گسسته یا ثابت مختصات بایپولار

b : جمله ی ثابت در معادله ی گسسته

Cp : گرمای ویژه در فشار ثابت

d : ضریب معادلات گسسته

dV : جزء حجم

D: قابلیت نفوذ از وجوه حجم کنترلی

$D_o$ : قطر استوانه بیرونی

$D_i$ : قطر استوانه داخلی

$D_h$ : قطر هیدرولیکی اختلاف قطرهای دو استوانه $D_h = 2\left(r_o - r_{oi}\right)$

e : عدم مرکزیت یا مرز شرقی حجم کنترل

E : عدم مرکزیت بی بعد( $E = \frac{e}{r_o - r_i}$ ) یا گره شرقی

F : نیرو شناوری و یا نرخ جریان عبوری از وجوه حجم کنترلی

g : شتاب گرانش

$h_3$ , $h_2$ , $h_1$ : فاکتورهای مقیاس در مختصات متعامد دلخواه

h : ضریب انتقال حرارت جابجایی یا فاکتور مقیاس بایپولار

H : فاکتور مقیاس بی بعد شده; $H= h/D_h$

k, j, i : شمارنده

$K_{eq}$: ضریب انتقال حرارت موضعی

$\overline{K_{eq}}$: ضریب انتقال حرارت متوسط

ks : ضریب هدایتی جامد

$k_f$ : ضریب هدایتی سیال

$K_R$: نسبت ضریب هدایتی جامد به سیال; $K_R=ks / kf$

L : فاصله ی بین دو استوانه ی هم مرکز $L = D_h/2$

n : مرز شمالی حجم کنترل

N : گره شمالی یا نسبت شعاع استوانه داخلی به شعاع استوانه بیرونی ; $N = \frac{r_i}{r_o}$

p : فشار

P : فشار بی بعد; $P = \frac{p}{\rho u_{ref}^2}$

P' : تصحیح فشار

$r_o$ : شعاع استوانه خارجی

$r_i$ : شعاع استوانه داخلی

r' : پاره خطی که مرکز استوانه داخلی را به مرز استوانه خارجی وصل می کند.

R* : فاصله ی شعاعی بی بعد; $R^* = \frac{r - r_i}{r' - r_i}$

RR : نسبت شعاع استوانه بیرونی به استوانه داخلی; $RR=\frac{r_o}{r_i}$

$r_{oi}$ : شعاع خارجی استوانه داخلی، در حالتی که جداره استوانه ضخامت داشته باشد.

$r_{ii}$ : شعاع داخلی استوانه ی داخلی، در حالتی که جداره استوانه ضخامت داشته باشد.

s : مرز جنوبی

S : گره جنوبی

$S_\varphi$ : عبارت چشمه در فرم حجم کنترلی

T : دما

w, v, u : سرعت ها در جهت مولفه های مختصات بایپولار

$u_{ref}$ : سرعت مرجع: $u_{ref}=\frac{\mu}{Gr.\rho D_h}$

V: سرعت بی بعد در جهت η : $V=\frac{v}{u_{ref}}$

w: مرز غربی

W : گره غربی یا سرعت بی بعد در جهت ζ : $W=\frac{w}{u_{ref}}$

**گروه اعداد بی بعد**

عدد پکلت: $Pe=\frac{F}{D}$

عدد گراشف: $Gr_L=\frac{g\beta(T_i-T_o)L^3}{\nu^2}$ و $Gr=\frac{g\beta(T_i-T_o)D_h^3}{\nu^2}$

عدد پرانتل : $\Pr=\frac{\nu}{\alpha}$

عدد رایلی: $Ra_L=\frac{g\beta(T_i-T_o)L^3}{\alpha\nu}=Gr_L.\Pr$ و $Ra=\frac{g\beta(T_i-T_o)D_h^3}{\alpha\nu}=Gr.\Pr$

**حروف یونانی**

$\eta$ : یکی از مولفه های دستگاه مختصات بایپولار

$\zeta$ : یکی از مولفه های دستگاه مختصات بایپولار

$\Gamma$ : ضریب نفوذ

$\theta$ : دمای بی بعد; $\theta = \frac{T - T_c}{T_h - T_c}$

$\nu$ : ضریب لزجت سینماتیکی

$\mu$ : ضریب لزجت دینامیکی

$\rho$ : چگالی

$\beta$ : ضریب انبساط حجمی

**پانویس ها**

i : داخلی

o : خارجی

h : مخفف hot به معنای گرم

c : مخفف cold به معنای سرد

E , N , S ,W : ارزیابی شده در جهت غرب، جنوب، شمال و شرق

nb : ارزیابی شده در گره های همسایه