دانشگاه صنعتی امیرکبیر

حل معادله انتقال حرارت تشعشعی در یک هندسه سه بعدی با در نظر گفتن (مدل سازی) رفتار طیفی محیط واسط

ارائه شده برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

توسط:

آرش ابجدپور

استاد راهنما

دکتر: رضا حسینی ابرده

دانشکده مهندسی مکانیک

۱۳۸۷

بسمه تعالی

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

شماره مدرک:

فرم اطلاعات پایان‌نامه
کارشناسی- ارشد و دکترا
کتابخانه مرکزی

مشخصات دانشجو	نام خانوادگی : ابجدپور	نام: آرش	شماره دانشجویی: ۸۵۱۲۶۰۶۷
	دانشکده: مهندسی مکانیک	رشته: مهندسی مکانیک	گروه: تبدیل انرژی

عنوان	حل معادله انتقال حرارت تشعشعی در یک هندسه سه بعدی با در نظر گرفتن (مدل سازی رفتار طیفی محیط واسط
Title	solution of radiative transfer equation in 3-dimensional geometry considering the spectral behavior of the medium

استاد راهنما	نام خانوادگی: دکتر حسینی ابرده	درجه و رتبه	استاد راهنما	نام خانوادگی:	درجه و رتبه
	نام: رضا	دانشیار		نام:	
استاد مشاور	نام خانوادگی:	درجه و رتبه	استاد مشاور	نام خانوادگی:	درجه و رتبه
	نام:			نام:	

دانشنامه	کارشناسی ○ ارشد ✹ دکترا ○	سال تحصیلی: ۱۳۸۷
نوع پروژه	کاربردی ✹ نظری ✹ توسعه ای ○ بنیادی ○	

مشخصات ظاهری	تعداد صفحات ۱۳۰	تصویر ✹ جدول ✹ نمودار ✹ نقشه ○ واژه‌نامه ○	تعداد مراجع ۳۴	ضمائم ○ تعداد صفحات:
زبان متن	فارسی ✹ انگلیسی ○	چکیده	فارسی ✹ انگلیسی ✹	
یاداشت				
توصیفگر				
کلید واژه فارسی	معادله انتقال تابشی، روش مجموع وزنی گازهای خاکستری ، روش جهات گسسته			
Key word of English	radiative transfer equation, weighted sum of gray gas , discrete ordinate method			

سپاس‌گزاری

بدین وسیله از استاد ارجمند جناب آقای دکتر رضا حسینی برای راهنمـایی هـای ارزنـده و بـی شائبه شان در طول انجام این پایان نامه کمال تشکر و سپاسـگزاری را دارم. همچنـین از دوسـتان گرامـی آقایان مهندس بهزاد فلاحتی و مهندس مهدی حسینی که در طول انجام این پروژه مرا یـاری نمـوده انـد، قدردانی می نمایم.

"تقدیم به پدر و مادر مهربانم"

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب آرش ابجدپور متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب تحت نظارت و راهنمایی اساتید دانشگاه صنعتی امیرکبیر بوده و به دستاوردهای دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است مطابق مقررات و روال متعارف ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است. این پایان نا مه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح یا بالاتر ارائه نگردیده است.

در صورت اثبات تخلف در هر زمان، مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از درجه اعتبار ساقط بوده و دانشگاه حق پیگیری قانونی خواهد داشت.

کلیه نتایج و حقوق حاصل از این پایان نا مه متعلق به دانشگاه صنعتی امیرکبیر می‌باشد. هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی، واگذاری اطلاعات به دیگران یا چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان نا مه بدون موافقت کتبی دانشگاه صنعتی امیرکبیر ممنوع است. نقل مطالب با ذکر مآخذ بلامانع است.

آرش ابجدپور

امضا

چکیده

انتقال حرارت تابشی در تجهیزات صنعتی نظیر کوره ها، بویلرها، مبدل های حرارتی دما بالا و عملیات حرارتی سهم قابل توجهی از میزان انتقال حرارت کلی را به خود اختصاص می دهد. با توجه به حضور گازهای گرم جاذب و ناشر تابش در این تجهیزات و پیچیدگی خواص تابشی گازها نیاز به استفاده از یک روش دقیق و در عین حال سریع برای مدل سازی خواص گازها مشهود است. علاوه بر این حل مسائل تابش در محیط فعال، نیازمند حل معادله انتقال تابشی می باشد که یک معادله انتگرالی دیفرانسیلی است.

در این پایان نامه معادله انتقال تابشی در یک هندسه مکعب مستطیلی با استفاده از روش جهات گسسته حل شده است. به منظور مدل سازی وابستگی طیفی خواص تابشی گاز، از روش مجموع وزنی گازهای خاکستری استفاده شده است. علاوه بر حل مساله فوق در حالت سه بعدی و برای میدان دماهای معلوم و مجهول، به حل و صحه گذاری مسائل یک بعدی و دو بعدی نیز پرداخته شده است.

فهرست مطالب

موضوع	صفحه
سپاس‌گزاری	الف
تقدیم	ب
تعهدنامه اصالت اثر	ت
چکیده	ث
فهرست شکل ها	ذ
فهرست جداول	س
فهرست علائم	ص

فصل ۱- مقدمه

۱-۱ اهمیت مدل سازی تابش در کوره‌های صنعتی	۱
۱-۲ دشواری‌های مدل سازی تابشی	۲
۱-۳ اهداف پایان نامه	۲

فصل ۲- روش های مدل سازی خواص تابشی گاز و حل معادله انتقال تابشی

۲-۱ بررسی مدل های محاسبه خواص تابشی گاز	۵
۲-۱-۱ روش ضریب جذب گاز خاکستری معادل	۶
۲-۱-۲ روش باند باریک آماری	۷
۲-۱-۳ روش باند پهن نمایی	۷
۲-۱-۴ روش جعبه ای	۸
۲-۱-۵ اس ال دابلیو	۹
۲-۱-۶ مدل توزیع طیفی کلی ضریب جاذبیت	۱۲

۲-۱-۷ مدل توزیع همبسته ضریب جاذبیت ۱۴
۲-۱-۸ روش آ دی اف ۱۶
۲-۲ روش های حل عددی معادله انتقال تابشی ۱۶
۲-۲-۱ معادله انتقال تابشی در یک محیط فعال گازی ۱۶
۲-۲-۲ روش حجم محدود ۱۷
۲-۲-۳ روش انتقال گسسته ۱۹
۲-۲-۴ روش ناحیه ای ۲۲
۲-۲-۵ روش مونت کارلو ۲۵
۲-۲-۶ روش شار ۲۷

فصل ۳- روش مجموع وزنی گازهای خاکستری

۳-۱ مدل‌های مختلف مجموع وزنی خاکستری ۲۸
۳-۱-۱ روش مجموع وزنی خاکستری اسمیت ۲۹
۳-۱-۲ روش مجموع وزنی خاکستری ترولاو ۳۱
۳-۱-۳ روش مجموع وزنی خاکستری کوپال - ورویش ۳۲
۳-۱-۴ مدل فرگ ۳۳
۳-۱-۵ تقریب چند جمله ای ۳۴
۳-۱-۶ مدل‌های دو رگه جعبه ای استوارد و کوکافی ۳۵
۳-۱-۷ مجموع وزنی گازهای خاکستری تک خطی ۳۵
۳-۲ گسیل کلی و استاندارد گازها ۳۶
۳-۳ مدل‌های معیار موجود برای خواص تشعشعی $H_2O - CO_2 - N_2$ ۳۷
۳-۳-۱ پایگاه داده‌های هیترن برای محاسبات خط به خط ۳۸
۳-۳-۲ محاسبات پویای مدل باند باریک ۳۹
۳-۳-۳ پایگاه داده‌های مدل باند پهن نمایی ۴۰
۳-۳-۴ پایگاه داده‌های توزیع ضریب جاذبیت برای محاسبات خواص تشعشعی ۴۰
۳-۳-۵ اصول حاکم در ایجاد ثابت‌های یک روش جمع وزنی خاکستری ۴۱
۳-۴ مقایسه نتایج روش‌های مختلف مجموع وزنی گازهای خاکستری ۴۲
۳-۴-۱ معیار دقت مدل‌های مختلف ضریب گسیل کلی ۴۵
۳-۴-۲ مقایسه ضریب گسیل در فشار اتمسفر ۵۱
۳-۴-۳ ضریب جاذبیت موثر در فشار اتمسفر ۵۱

۳-۵ مدل پیشنهادی برای محاسبه ضریب جاذبیت خاکستری ۵۳
۳-۶ کوپل شدن تقریب‌های گسیل با آر تی ای ۵۳
۳-۶-۱ طبقه بندی مسائل تشعشعی ۵۴
۳-۶-۲ مدل خاکستری برای معادله انتقال ۵۵
۳-۶-۳ مدل طیفی برای معادله انتقال ۵۶
فصل ۴ – روش جهات گسسته برای حل معادله انتقال تابشی
۴-۱ تاریخچه ۵۷
۴-۱-۱ تقریب چاندارسخار برای فضای نیمه متناهی ۵۷
۴-۱-۲ سیر تکاملی ۶۰
۴-۲ فرمولاسیون روش جهات گسسته ۶۳
۴-۲-۱ شرایط مرزی ۶۹
۴-۲-۲ میان یابی روش جهات گسسته ۶۹
۴-۳ مدل سازی پراکنش ۷۱
۴-۴ میدان دمای مجهول ۷۲
۴-۴-۱ معادله انرژی ۷۲
۴-۴-۲ حل معادله انرژی ۷۳
۴-۵ الگوریتم حل در روش جهات گسسته ۷۴
۴-۶ طرح تفاضلات مکانی ۷۸
۴-۶-۱ طرح استپ ۷۸
۴-۶-۲ طرح تفاضلات دیاموند ۷۸
۴-۶-۳ طرح تفاضلات نمایی ۷۹
۴-۷ طرح‌های گسسته سازی زاویه فضایی ۸۰
۴-۷-۱ اصول حاکم بر طرحهای تقسیم ۸۰
۴-۷-۲ طرح گسسته‌های متقارن هم سطح ۸۳
۴-۷-۳ طرح گسسته سازی با اوزان مساوی ۸۵
۴-۷-۴ طرح‌های گسسته سازی لبدوف ۸۶
۴-۷-۵ طرح‌های گسسسته سازی بر مبنای ملاحظات هندسی ۸۷
۴-۷-۶ طرح‌های گسسته سازی دی سی تی ۸۹
۴-۷-۷ دی ا اس - آی اس دابلیو ۸۹

۴-۸ مزایای روش جهات گسسته ۹۰
فصل ۵ - نتایج
۵-۱ گاز بین دو صفحه بینهایت بزرگ با دمای معلوم گاز و صفحات ۹۱
۵-۱-۱ گاز سرد بین صفحات داغ ۹۱
۵-۱-۲ گاز داغ بین صفحات سرد ۹۱
۵-۱-۳ ضریب جاذبیت خاکستری بهینه ۹۲
۵-۱-۴ نتایج ۹۴
۵-۲ محفظه دو بعدی با بار تابشی یکنواخت ۹۵
۵-۲-۱ نتایج ۹۶
۵-۳ محفظه دو بعدی با بار تابشی نقطه ای ۹۸
۵-۳-۱ نتایج ۱۰۰
۵-۴ محفظه مکعب مستطیلی با دمای معلوم گاز ۱۰۲
۵-۴-۱ نتایج ۱۰۳
۵-۴-۲ اثر فشار ۱۰۶
۵-۴-۳ اثر غلظت ۱۰۷
۵-۴-۴ بررسی استقلال حل عددی ۱۱۰
۵-۴-۵ بررسی خطا ۱۱۲
۵-۴-۶ سرعت همگرایی ۱۱۴
۵-۵ محفظه سه بعدی با میدان دمای نامعلوم ۱۱۶
۵-۵-۱ محفظه مکعب مستطیلی با دیورژانس شار حرارتی یکنواخت ۱۱۶
۵-۵-۲ محفظه مکعب مستطیلی با دیورژانس شار حرارتی پله ای ۱۲۰
۵-۶ جمع بندی ۱۲۴
۵-۷ پیشنهاد برای کارهای آینده ۱۲۶
مراجع ۱۲۷

فهرست اشکال

شماره صفحه

شکل (۲-۱): وابستگی شدید خواص تابشی گاز به طول موج ۶

شکل (۲-۲): روش جعبه ای ۹

شکل (۲-۳): روش اس ال دابلیو ۱۱

شکل (۲-۴): تغییرات k بر حسب k_0 در یک مقدار انباشتگی g ۱۴

شکل (۲-۵): تقسیم زاویه فضایی ۱۸

شکل (۲-۶) : ردیابی اشعه با روش جهات گسسته ۲۱

شکل (۳-۱): نمونه ای از طیف گسیل الف- روش خط به خط . ب- روش باند باریک. ج- روش باند پهن ۳۸

شکل (۳-۲): مقایسه ضریب گسیل مدل فرگ با مدل باند پهن نمایی برای بخارآب ۴۶

شکل (۳-۳): مقایسه ضریب گسیل مدل فرگ با مدل باند پهن نمایی برای دی اکسیدکربن ۴۷

شکل (۳-۴): مقایسه ضریب گسیل مدل های مختلف با مدل باند پهن نمایی برای مخلوط دی اکسیدکربن و بخارآب ۴۸

شکل (۳-۵): مقایسه درصد خطای ضریب گسیل مدل‌های جمع وزنی خاکستری نسبت به مدل باند پهن نمایی برای مخلوط دی اکسیدکربن و بخارآب ۴۹

شکل (۳-۶): مقایسه ضریب جاذبیت مدل‌های جمع وزنی خاکستری با مدل باند پهن نمایی برای مخلوط دی اکسیدکربن و بخارآب ۵۰

شکل (۴-۱): ناحیه بین دو صفحه موازی ۵۸

شکل (۴-۲): یک فضای نیمه متناهی ۵۹

شکل (۴-۳): میان یابی روش جهات گسسته ۷۰

شکل (۴-۴): فلوچارت روش جهات گسسته برای میدان دمای معلوم و مجهول ۷۷

شکل (۴-۵): تشکیل سه تایی‌های جهات گسسته ۸۲

شکل (۴-۶): تشکیل طرح تقسیم اس۸ ۸۳

شکل (۴-۷): تشکیل طرح تقسیم ای ۸ ۸۵

شکل (۴-۸): تشکیل طرح تقسیم تی ۴ توسط راکولین ۸۸

شکل (۴-۹): تشکیل طرح تقسیم تی ۴ توسط تروگود ۸۸

شکل (۵-۱): ضرایب جاذبیت بهینه الف-دیواره های سرد گاز گرم . ب- دیواره گرم گاز سرد ۹۳

شکل (۵-۲): دیورژانس شار حرارتی برای دو صفحه موازی دیواره های گرم و گاز میانی گاز سرد ۹۴

شکل (۵-۳): دیورژانس شار حرارتی برای دو صفحه موازی دیواره های سرد گاز میانی گرم ۹۵

شکل (۵-۴): کانتورهای دما در یک داکت با مقطع مربع ۹۷

شکل (۵-۵): کانتورهای بدست آمده دما در یک داکت با مقطع مربع (کار حاضر) ۹۷

شکل (۵-۶): کانتور دما برای ناحیه ضخیم نوری (کار حاضر) ۹۸

شکل (۵-۷): یک کوره دو بعدی ۹۹

شکل (۵-۸): مقادیر دما برای بار نقطه ای ۱۰۰

شکل (۵-۹): کانتور دما برای بار نقطه ای (کار حاضر) ۱۰۱

شکل (۵-۱۰): شار حرارتی المان‌های صفحه ای برای بار نقطه ای بر حسب شماره المان ۱۰۱

شکل (۵-۱۱): دمای المان‌های حرارتی برای بار نقطه ای بر حسب Ψ ۱۰۲

شکل (۵-۱۲): دیورژانس شار حرارتی تابشی بر حسب ارتفاع در امتداد خط $\left(z\text{و}1\text{و}1\right)$ ۱۰۵

شکل (۵-۱۳): نمودار شار حرارتی فرودی در راستای خط $(2,1,z)$ ۱۰۶

شکل (۵-۱۴): نمودار دیورژانس شار حرارتی در طول خط $(1,1,z)$ برای فشارهای مختلف ۱۰۷

شکل (۵-۱۵): دیورژانس شار حرارتی را برای نسبت فشارهای مختلف بخارآب به گازکربنیک ۱۰۸

شکل (۵-۱۶): دیورژانس شار حرارتی برای نسبت فشارهای ۱ و ۲ ۱۰۹

شکل (۵-۱۷): نمودار دیورژانس شار حرارتی در امتداد $(1,1,z)$ برای مراتب مختلف جهات گسسته ۱۱۱

شکل (۵-۱۸): نمودار دیورژانس شار حرارتی در امتداد $(1,1,z)$ برای ۵ شبکه غیر یکنواخت ۱۱۲

شکل (۵-۱۹): خطای مقدار دیورژانس شار حرارتی شبکه های مختلف در مقایسه با شبکه ریز ۱۱۳

شکل (۵-۲۰): خطای نسبی مراتب مختلف جهات گسسته نسبت به S_8 ۱۱۴

شکل (۵-۲۱): محفظه سه بعدی با دیورژانس شار حرارتی یکنواخت ۱۱۷

شکل (۵-۲۲): پروفیل دمای گاز درون محفظه در امتداد خط $(x, 1\ m, 2\ m)$ ۱۱۸

شکل (۵-۲۳): کانتورهای دما در صفحه $x = 1\ m$ ۱۱۸

شکل (۵-۲۴): کانتورهای میدان شدت تابش در صفحه $y = 1\ m$ ۱۱۹

شکل (۵-۲۵): کانتورهای میدان دما برای بار پله ای در صفحه $x = 1\ m$ ۱۲۱

شکل (۵-۲۶): کانتورهای میدان دما برای بار پله ای در صفحه $y = 1\ m$ ۱۲۱

شکل (۵-۲۷): کانتورهای میدان دما برای بار پله ای در صفحه $z = 2\ m$ ۱۲۲

شکل (۵-۲۸): پروفیل دما برای بار پله ای در راستای خط $(1,1,z)$ ۱۲۳

فهرست جداول

شماره صفحه

جدول (۳-۱): ثابت‌های ضرایب وزنی گسیل اسمیت ۳۰

جدول (۳-۲): ثابت های ضرایب وزنی جذب اسمیت ۳۱

جدول (۳-۳): ثوابت ترولاو برای محاسبه ضرایب وزنی گسیل ۳۲

جدول (۳-۴): ضرایب کوپال - ورویش برای محاسبه ضرایب وزنی گسیل ۳۳

جدول (۳-۵): ضرایب فرگ برای محاسبه ضرایب وزنی گسیل ۳۴

جدول (۳-۶): ثوابت برای محاسبه ضرایب وزنی هدویک ۳۵

جدول (۳-۷): پایگاه های اطلاعاتی موجود برای خواص گازها در محدوده مادون قرمز ۳۷

جدول (۳-۸): محدوده کاربرد روش های مجموع وزنی خاکستری ۴۳-۴۴

جدول (۳-۹): انحراف ضریب گسیل های محاسبه شده از مدل های مختلف جمع وزنی در مقایسه با مدل باند پهن نمایی ۴۸

جدول (۳-۱۰): انحراف بیشینه و متوسط ضریب جاذبیت محاسبه شده از مدل‌های مختلف جمع وزنی در مقایسه با باند پهن ۵۱

جدول (۴-۱): پیشینه تحول روش جهات گسسته ۶۲-۶۳

جدول (۴-۲): کسینوس هادی و ضرایب وزنی در مختصات کارتزین ۶۵

جدول (۴-۳): مرتبه ممان‌های ارضا شده توسط جهات گسسته متقارن هم سطح از مرتبه ۴ تا ۱۰ ۸۴

جدول (۴-۴): مرتبه ممان‌های ارضا شده توسط جهات گسسته هم وزن از مرتبه ۴ تا ۱۰ ۸۶

جدول (۴-۵): درجات آزادی متناظر با ساختارهای متفاوت روش دی سی تی ۸۹

جدول (۵-۱): نسبت ضریب جاذبیت خاکستری به ضریب جاذبت بهینه برای صفحات گرم و سرد بر حسب فاصله دو صفحه و ضخامت نوری ناحیه ۹۳

جدول (۵-۲): مقایسه اثر غلظت و ترکیبات هیدروکربنی معادل ۱۰۹

جدول (۵-۳): اثر اندازه شبکه در زمان پردازش و خطا ۱۱۵

جدول (۵-۴): تاثیر مرتبه جهات گسسته در زمان پردازش و خطا ۱۱۶

فهرست علائم

علائم لاتین

a_j	ضریب وزنی باند گاز نسبت به تابش کلی جسم سیاه هم دما
$a_{\alpha,\nu}$	ضریب وزن باندی جذب
$a_{\varepsilon,\nu}$	ضریب وزنی باندی گسیل
A	مساحت
C	ضریب تصحیح فشار
$\tilde{C}_{\mathrm{abs,j}}$	سطح زیر نمودار ضریب جاذبیت از صفر تا باند j ام
$\mathrm{C_v}$	ظرفیت ویژه حرارتی
dt	تغییر بسیار کوچک زمان
D	فاصله دو صفحه موازی
$error_\eta$	انحراف باندی مدل جمع وزنی خاکستری نسبت به روش معیار
E°_{υ}	توان گسیل طیفی جسم سیاه
f	تابع توزیع طیفی ضریب جاذبیت
f	پارامتر میان یابی بین صفر و یک
$\mathrm{f_\nu}$	غلظت دوده
F	تابع توزیع جسم سیاه
F	فاکتور تبادل کلی
g	تابع توزیع طیفی ضریب جاذبیت اکیدا صعودی
G	شار تابشی فرودی
$\overline{G_J G_\iota}$	سطوح تبادل کلی حجم j به حجم i
$\overline{G_\iota S_k}$	سطوح تبادل کلی حجم j به سطح k
H	تابع پله ای واحد
I	شدت تابش
k	ضریب جاذبیت

L	طول مشخصه محفظه
N	تعداد کل باندها
P_n	چندجمله ای مرتبه n لژاندر
P_t	فشار کل گاز
q_r	شار حرارتی تابشی
q_w	شار فرودی نیمکروی
Q	انرژی آزاد شده از احتراق
R	عدد تصادفی
S	راستا
S_iS_j	سطوح تبادل کلی سطح i به سطح j
T	دما
V	حجم المان
$\mathrm{w_j}$	ضریب وزنی تقسیم
x	جز مولی گاز
Y_s	جز مولی گاز

علائم یونانی

β	ضریب خاموشی
γ	پارامتر مربوط به مشتقات زاویه ای
δ	تابع دلتای دیراک
δ_0	بردار یکه در جهت تابش
$\Delta\upsilon$	پهنای باند
ε	ضریب گسیل
$\varepsilon_{\mathrm{g}}^{\circ}$	ضریب گسیل گاز در فشار اتمسفر
$\bar{\varepsilon}_{\eta m}$	ضریب گسیل باندی پیش بینی شده توسط مدل جمع وزنی خاکستری
$\bar{\varepsilon}_{\eta t}$	ضریب گسیل باندی واقعی
ζ	یکی از کسینوس هادی های در جهت x، y یا z
η	باند طول موج

η	کسینوس هادی در جهت y
λ	طول موج
μ	کسینوس هادی در جهت z
ξ	کسینوس هادی در جهت x
ρ	چگالی
$\Phi_{m,j}$	تابع فاز پراکنش
σ	ثابت استفان- بولتزمان
σ_s	ضریب پراکنش
τ	ضخامت نوری
$\bar{\tau}$	عبوردهی تابشی
ψ	کسر انرژی جذب شده به کل انرژی آزاد شده در المان
ω	ضریب بازتابش پراکنش
ω_j	ضریب وزن جهت j ام
Ω	جهت

زیرنویس ها

b	جسم سیاه
c	مرکز
e	مقادر خروجی از المان
g	گاز
i	مقادر ورودی به المان
iso	همسان گرد
j	شمارنده باند طیفی گاز
m	یک جهت مجزای دلخواه
n	شمارنده باند طول موجی
p	نشان دهنده مرکز المان
$patch$	پتچ
$planck$	پلانک

r	در جهت شعاع
ref	مرجع
w	دیوار
θ	در جهت زاویه ای