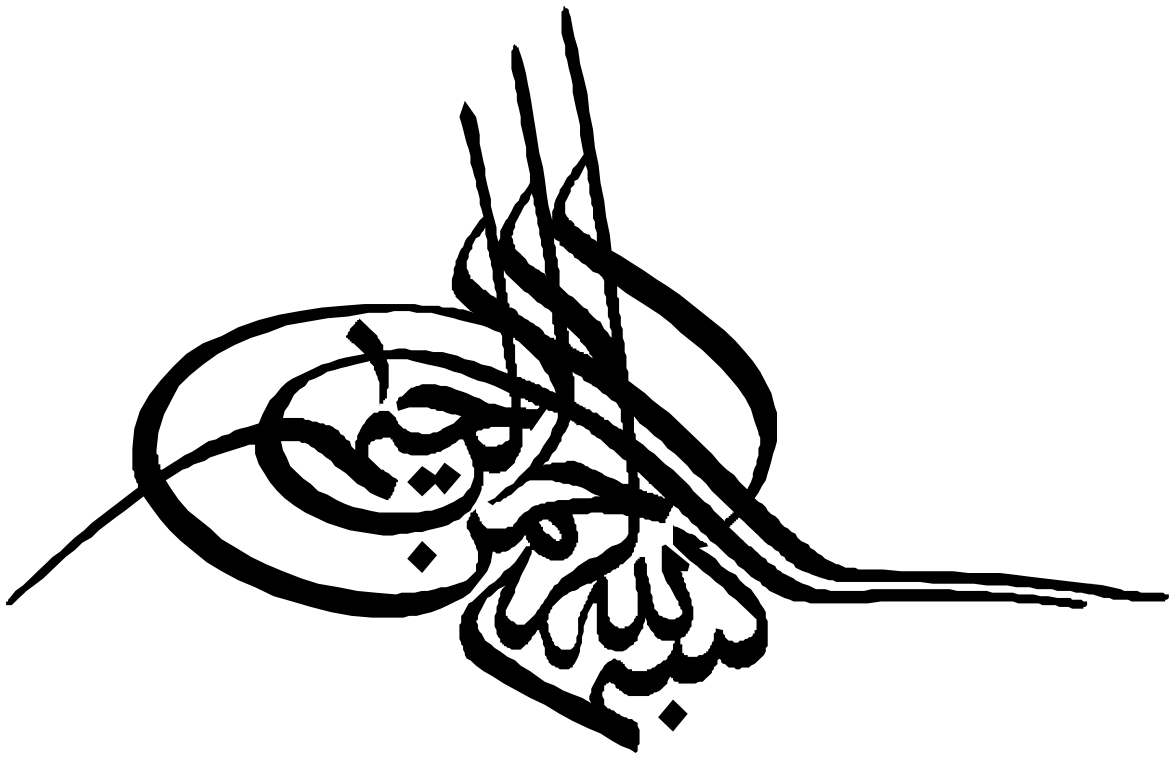
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی

گروه مکانیک

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در گرایش تبدیل انرژی

عنوان:

بررسی و مدلسازی عددی فرایندهای انتقال حرارت و جرم در چرخ های دسیکنت

اساتید راهنما:

آقای دکتر قنبر علی شیخ زاده

آقای دکتر مجید سبزپوشانی

حمید رضا نورانی

شهریور ۸۷

بسمه تعالی

تاریخ:
شماره:
پیوست:

دانشگاه کاشان
دانشکده مهندسی

مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

نام و نام خانوادگی دانشجو : حمید رضا نورانی شماره دانشجویی : ۸۴۳۳۲۲۰۲۰۵

رشته: مهندسی مکانیک(تبدیل انرژی) دانشکده : مهندسی

عنوان پایان نامه: بررسی و مدلسازی فرآیند های انتقال حرارت وجرم در چرخ های دیسکنت

تعداد واحد پایان نامه : ۶ واحد تاریخ دفاع : ۸۷/۶/۳۰

این پایان‌نامه به مدیریت تحصیلات تکمیلی به منظور بخشی از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد ارایه می‌گردد.دفاع از پایان نامه در تاریخ ۸۷/۶/۳۰ مورد تأیید و ارزیابی هیات داوران قرار گرفت و با نمره ۱۹,۴۸ و درجه عالی به تصویب رسید.

اعضاء هیات داوران

عنوان	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱. استاد راهنما	دکتر قنبر علی شیخ زاده	استادیار	
۲. استاد راهنما	دکتر مجید سبز پوشانی	استادیار	
۳. متخصص وصاحب نظر از داخل دانشگاه	دکتر حسین خراسانی زاده	استادیار	
٤. متخصص وصاحب نظر از خارج دانشگاه	دکتر ابوالفضل احمدی	استادیار	
۵. نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه	دکتر علی اکبر عباسیان آرانی	استادیار	

آدرس: کاشان-بلوار قطب راوندی
کدپستی ۸۷۳۱۷-۵۱۱۶۷
تلفن ۵۵۵۹۹۳۰-دورنگار ۵۵۵۹۹۳۰
http: www.kashanu.ac.ir

تقدیم به:

پدر و مادر مهربان و همسر دلسوزم

که نمونه صبر و فداکاری هستند.

تشکر و قدردانی

خداوند منان را شکر گزارم که لطف خود را شامل حال من کرد که بتوانم در راه کسب دانش قدم نهم.

از اساتید بزرگوار جناب آقایان دکتر شیخ زاده و دکتر سبزپوشانی که به عنوان اساتید راهنما اینجانب را در انجام تحقیق، پژوهش و نگارش این پایان‌نامه یاری نمودند نهایت تشکر و سپاسگزاری را دارم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده ج

فهرست شکلها و نمودارها ز

فهرست جدولها ض

فهرست علائم و اختصارات ط

فصل اول: مقدمـــه

۱-۱ مقدمـــه ۲

۱-۲ انواع روشهای رطوبت‌زدایی ۲

۱-۳ انواع سیستمهای دسیکنت ۳

۱-۴ مزایای استفاده از سیستمهای دسیکنت ۵

۱-۵ مروری بر مطالعات گذشته ۶

۱-۶ اهداف پایان‌نامه ۸

فصل دوم: چرخ دسیکنت و سیستمهای شامل آن

۲-۱ مقدمـــه ۱۱

۲-۲ چرخ دسیکنت ۱۱

۲-۳ معرفی دسیکنتها ۱۲

۲-۴ جذب کننده‌های مایع ۱۳

۲-۵ جذب کننده‌های جامد ۱۳

۲-۵-۱سیلیکاژل ۱۴

۲-۵-۲ آلومین فعال شده ۱۴

۲-۵-۳ غربال مولکولی ۱۵
۲-۵-۴ کامپوزیتها ۱۶
۲-۶ بررسی انواع سیستمهای دسیکنت جامد ۱۶
۲-۶-۱ سیستم دسیکنت معمولی ۱۶
۲-۶-۲ سیستم دسیکنت همراه با بازیابی گرما ۱۷
۲-۶-۳ سیستم دسیکنت انشعابی ۱۷
۲-۶-۴ سیستم دسیکنت ترکیبی ۱۸
۲-۶-۵ سیستم دسیکنت ترکیبی توسعه یافته ۱۹
۲-۷ اصول سیکلهای متداول سرمایش ۲۰
۲-۷-۱سیکل تهویه ۲۰
۲-۷-۲ سیکل بازگشتی ۲۲
۲-۸ سیکلهای سرمایش توسعه یافته ۲۴
۲-۸-۱ سیکل سرمایشی REVERS ۲۴
۲-۸-۲ سیکل سرمایشی DINC ۲۵
۲-۸-۳ سیکل سرمایشی SENS ۲۶
۲-۹ استفاده از انرژی خورشیدی ۲۷

فصل سوم: معادلات حاکم

۳-۱ مقدمـــه ۳۰
۳-۲ مدلسازی ریاضی ۳۰
۳-۳ معادلات حاکم ۳۱
۳-۳-۱ معادلات حاکم بر جریان هوای عبوری از کانال ۳۲
۳-۳-۱-۱ معادله بقای انرژی ۳۲
۳-۳-۱-۲ معادله بقای جرم ۳۷

۲-۳-۳ معادلات حاکم بر ماده دسیکنت ۳۹
۱-۲-۳-۳ معادله بقای انرژی ۳۹
۲-۲-۳-۳ معادله بقای جرم ۴۱
۳-۳-۳ معادله جذب ایزوترم ۴۶
۴-۳ شکل بدون بعد معادلات حاکم ۴۷
۱-۴-۳ معادله بقای انرژی در هوا ۴۷
۲-۴-۳ معادله بقای جرم در هوا ۴۸
۳-۴-۳ معادله بقای انرژی در دسیکنت ۴۸
۴-۴-۳ معادله بقای جرم در دسیکنت (قانون فیک) ۴۹
۵-۳ شرایط مرزی ۵۰
۱-۵-۳ شرایط مرزی برای هوا ۵۰
۲-۵-۳ شرایط مرزی برای ماده دسیکنت ۵۰

فصل چهارم: تحلیل عددی

۱-۴ مقدمـــه ۵۳
۲-۴ منفصل کردن معادلات حاکم بر جریان هوای عبوری از کانال ۵۴
۱-۲-۴ معادله بقای انرژی در هوا ۵۴
۲-۲-۴ معادله بقای جرم در هوا ۵۵
۳-۴ منفصل کردن معادلات حاکم بر دسیکنت ۵۷
۱-۳-۴ منفصل کردن معادله بقای انرژی در دسیکنت ۵۷
۲-۳-۴ معادله بقای جرم در دسیکنت (قانون فیک) ۵۸
۴-۴ تحلیل پایداری پاسخ‌ها ۶۰
۵-۴ الگوریتم حل معادلات ۶۲

فصل پنجم: بررسی نتایج

۵-۱ مقدمـــه ۶۵

۵-۲ شرایط شرایط اولیه و مرزی ۶۵

۵-۲-۱ شرایط اولیه برای هوا ۶۵

۵-۲-۲ شرایط اولیه برای دسیکنت ۶۵

۵-۲-۳ شرایط مرزی برای هوا ۶۶

۵-۲-۴ شرایط مرزی برای ماده دسیکنت ۶۶

۵-۳ مشخصات چرخ دسیکنت ۶۷

۵-۴ شبکه بهینه ۶۸

۵-۴-۱ انتخاب شبکه بهینه در راستای محوری ۶۹

۵-۴-۲ انتخاب شبکه بهینه در راستای ضخامت ۷۰

۵-۵ بررسی صحت نتایج ۷۵

۵-۶ سرعت دورانی بهینه ۷۹

۵-۶-۱ اثر سرعت دورانی بر عملکرد چرخ دسیکنت ۸۰

۵-۷ بررسی تغییرات دما و نسبت رطوبت جریان هوای عبوری ۸۳

۵-۸ اثر عدد واحد انتقال بر عملکرد چرخ دسیکنت ۸۶

۵-۹ اثر ضخامت دیواره ۸۵

۵-۹-۱ اثر ضخامت دیواره بر بازده رطوبت‌زدایی ۸۷

۵-۹-۲ اثر ضخامت دیواره بر سرعت دورانی بهینه ۸۸

۵-۱۰ اثر سرعت هوای ورودی به کانال بر بازده رطوبت‌زدایی ۸۹

۵-۱۱ اثر طول کانال بر بازده رطوبت‌زدایی ۹۰

۵-۱۲ اثر زاویه قطاع فرایند جذب بر بازده رطوبت‌زدایی ۹۱

۵-۱۳ تاثیر شرایط محیطی بر عملکرد چرخ دسیکنت ۹۲

۵-۱۴ بررسی عملکرد چرخ دسیکنت در اقلیمهای مختلف آب و هوایی ایران ۹۴
نتیجه گیری و پیشنهادات ۹۷
مراجع ۹۹
واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۱۰۲
واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ۱۰۴

فهرست شکلها و نمودارها

عنوان **صفحه**

شکل۱-۱: سیستم دسیکنت جامد سرمایشی ۴

شکل۱-۲: سیستم دسیکنت مایع ۵

شکل۲-۱: طرحواره چرخ دسیکنت ۱۲

شکل۲-۲: بلورهای سیلیکاژل ۱۴

شکل۲-۳: بلورهای آلومین فعال شده ۱۵

شکل۲-۴ بلورهای غربال مولکولی ۱۵

شکل۲-۵ سیستم دسیکنت معمولی ۱۶

شکل۲-۶ سیستم دسیکنت همراه با بازیابی ۱۷

شکل۲-۷ سیستم دسیکنت انشعابی ۱۸

شکل۲-۸ سیستم دسیکنت ترکیبی ۱۸

شکل۲-۹ سیستم دسیکنت ترکیبی توسعه یافته ۱۹

شکل۲-۱۰ نمونه دیگری از سیستم دسیکنت ترکیبی توسعه یافته ۲۰

شکل۲-۱۱ سیکل سرمایشی دسیکنت در حالت تهویه‌ای ۲۱

شکل۲-۱۲ نمودار سایکرومتریک سیکل سرمایشی دسیکنت در حالت تهویه‌ای ۲۱

شکل۲-۱۳ سیکل سرمایشی دسیکنت در حالت بازگشتی ۲۲

شکل۲-۱۴ نمودار سایکرومتریک سیکل سرمایشی دسیکنت در حالت بازگشتی ۲۳

شکل۲-۱۵ سیکل سرمایشی Revers ۲۴

شکل۲-۱۶ سیکل سرمایشی DINC ۲۶

شکل۲-۱۷ سیکل سرمایشی SENS ۲۶

شکل ۳-۱ نمای روبروی چرخ دسیکنت ۳۱

شکل۳-۲ نمایی از یک کانال ۳۲

شکل ۴-۱ شبکه منطبق بر کانال ۵۳

شکل ۵-۱ طرحواره کانال سینوسی چرخ دسیکنت ۶۷

شکل ۵-۲ کانال چرخ دسیکنت ۶۹

شکل ۵-۳ تغییرات نسبت رطوبت دسیکنت بر حسب زمان در نقطه ۳ (بـه مختـصات $x^* =$ ۰/۹۹ و $y^* =$ ۰/۵) با تعداد نقاط مختلف در راستای محوری ۷۰

شکل ۵-۴ درصد بیشترین اختلاف نسبت رطوبت دسیکنت در نقطه انتهایی نسبت به ریزترین شـبکه ۷۱

شکل ۵-۵ تغییرات نسبت رطوبت هوا بر حسب زمان در نقطه انتهایی کانال با تعداد نقاط مختلـف در راستای محوری ۷۱

شکل ۵-۶ درصد بیشترین اختلاف نسبت رطوبت هوا در نقطه انتهایی نسبت به ریزترین شبکه ۷۲

شکل ۵-۷ تغییرات نسبت رطوبت دسیکنت بر حسب زمان در نقطه ۱ (به مختـصات $x^* =$ ۰/۰۳۳ و $y^* =$ ۰/۵) با تعداد نقاط مختلف در راستای ضخامت ۷۳

شکل ۵-۸ تغییـرات دمـای دسـیکنت بـر حـسب زمـان در نقطـه ۱ (بـه مختـصات $x^* =$ ۰/۰۳۳ و $y^* =$ ۰/۵) با تعداد نقاط مختلف در راستای ضخامت ۷۴

شکل ۵-۹ درصد بیـشترین اخـتلاف نـسبت رطوبـت و دمـای دسـیکنت در نقطـه ۱ (بـه مختـصات $x^* =$ ۰/۰۳۳ و $y^* =$ ۰/۵) نسبت به ریزترین شبکه ۷۴

شکل ۵-۱۰ مقایسه نتایج مدلـسازی حاضـر بـا مدلـسازی مرجـع [۲۱] بـرای منحنـی نـسبت دمـای دسیکنت در نقطه ۱ (به مختصات $x^* =$ ۰/۰۳۳ و $y^* =$ ۰/۵) ۷۶

شکل ۵-۱۱ مقایسه نتایج مدلسازی حاضر با مدلسازی مرجع [۲۱] برای منحنی دمای دسیکنت در نقطه ۲ (به مختصات $x^* = ۰/۵$ و $y^* = ۰/۵$) ۷۶

شکل ۵-۱۲ مقایسه نتایج مدلسازی حاضر با مدلسازی مرجع [۲۱] برای منحنی دمای دسیکنت در نقطه ۳ (به مختصات $x^* = ۰/۹۹$ و $y^* = ۰/۵$) ۷۷

شکل ۵-۱۳ مقایسه نتایج مدلسازی حاضر با مدلسازی مرجع [۲۱] برای منحنی نسبت رطوبت دسیکنت در نقطه ۱ (به مختصات $x^* = ۰/۰۳۳$ و $y^* = ۰/۵$) ۷۸

شکل ۵-۱۴ مقایسه نتایج مدلسازی حاضر با مدلسازی مرجع [۲۱] برای منحنی نسبت رطوبت دسیکنت در نقطه ۲ (به مختصات $x^* = ۰/۵$ و $y^* = ۰/۵$) ۷۸

شکل ۵-۱۵ مقایسه نتایج مدلسازی حاضر با مدلسازی مرجع [۲۱] برای منحنی نسبت رطوبت دسیکنت در نقطه ۳ (به مختصات $x^* = ۰/۹۹$ و $y^* = ۰/۵$) ۷۹

شکل ۵-۱۶ تغییرات بازده رطوبت‌زدایی برحسب سرعت دورانی و مقایسه آن با نتایج مرجع [۲۱] ۸۱

شکل ۵- ۱۷ مقایسه نسبت رطوبت هوا خروجی برای سرعت دورانی های مختلف : الف : ۰/۳(دور بر دقیقه) ۸۲

ادامه شکل ۵- ۱۷ مقایسه نسبت رطوبت هوای خروجی برای سرعت دورانی های مختلف : ب: ۰/۶(دور بر دقیقه)، ج: ۱ (دور بر دقیقه) ۸۳

شکل ۵-۱۸ نسبت رطوبت هوای خروجی برحسب تعداد سیکل در فرایند جذب برای سرعت دورانی بهینه ۰/۶ دور بر دقیقه ۸۴

شکل ۵-۱۹ تغییرات دما برای جریان هوا در نقطه خروجی کانال برای فرایند جذب در سرعت دورانی بهینه ۰/۶ دور بر دقیقه در سیکلهای مختلف ۸۴

شکل ۵-۲۰ تغییرات دما برای جریان هوا در سه نقطه مختلف در فرایند جذب با سرعت دورانی ۰/۶ دور بر دقیقه در فرایند جذب رطوبت ۸۵

شکل ۵-۲۱ تغییرات دما برای دسیکنت در سه نقطه مختلف در $y = 0.05mm$ در فرایند جذب با سرعت دورانی ۰/۶ دور بر دقیقه در فرایند جذب رطوبت ۸۶

شکل ۵-۲۲ اثر عدد واحد انتقال بر بازده رطوبت‌زدایی و مقایسه با نتایج مرجع [۲۱] ۸۷

شکل ۵-۲۳ اثر ضخامت بر بازده رطوبت‌زدایی و مقایسه با مدل مرجع[۴] ۸۸

شکل ۵-۲۴ مقایسه اثر ضخامت بر سرعت دورانی بهینه برای دو کانال با قطرهای متفاوت ۸۹

شکل ۵-۲۵ اثر سرعت هوای ورودی به کانال بر بازده رطوبت‌زدایی در سرعت دورانی ۰/۶ دور بر دقیقه و ضخامت $0/2\ mm$ ۹۰

شکل ۵-۲۶ اثر تغییرات طول کانال بر بازده رطوبت‌زدایی در سرعت دورانی ۰/۶ دور بر دقیقه و ضخامت ۰/۲mm ۹۱

شکل ۵-۲۷ اثر زاویه قطاع فرایند جذب بر بازده رطوبت‌زدایی با سرعت دورانی ۰/۶ دور بر دقیقه و ضخامت $0/2\ mm$ در سه دمای احیا مختلف ۹۲

شکل ۵-۲۸ اثر شرایط محیطی بر بازده رطوبت‌زدایی چرخ دسیکنت در سرعت دورانی ۰/۶ دور بر دقیقه ۹۳

شکل ۵-۲۹ مقایسه سرعت دورانی بهینه چرخ دسیکنت در برخی شهرهای ایران ۹۶

شکل ۵-۳۰ مقایسه بازده رطوبت‌زدایی چرخ دسیکنت در برخی شهرهای ایران در سرعت دورانی بهینه آنها ۹۶

فهرست علائم و اختصارات

a	شعاع منفذ	(m)
A_s	سطح انتقال	$\left(m^2\right)$
Bi	عدد بایوت	
C	عدد ثابت در منحنی جذب	
c_p	ظرفیت حرارتی ویژه در فشار ثابت	$\left(\frac{J}{kgK}\right)$
d_e	قطر هیدرولیکی یک کانال	(m)
D_A	ضریب دیفیوژن نادسن و معمولی	$\left(\frac{m^2}{s}\right)$
D_s	ضریب دیفیوژن سطح	$\left(\frac{m^2}{s}\right)$
f	نسبت دسیکنت در ماده چرخ	
h	ضریب انتقال حرارت جابجایی	$\left(\frac{W}{m^2K}\right)$
h_m	ضریب انتقال جابجایی جرم	$\left(\frac{kg}{m^2s}\right)$
H	آنتالپی ویژه	$\left(\frac{J}{kg}\right)$
k	ضریب انتقال حرارت رسانشی	$\left(\frac{W}{mK}\right)$
L	طول یک کانال	(m)
Le	عدد لوئیس	

M	وزن مولکولی $\left(\frac{kg}{kmol}\right)$
m_d	جرم چرخ (kg)
$\dot{m}g$	دبی جریان هوا $\left(\frac{kg}{s}\right)$
N	سرعت دورانی (rpm)
NTU	عدد واحد انتقال
P	محیط (m)
p	فشار (pa)
q_{st}	گرمای جذب $\left(\frac{J}{kg}\right)$
T	دما (K)
t	زمان (s)
V	حجم $\left(m^3\right)$
W	محتوای آب در ماده دسیکنت $\left(\frac{kg}{kg_{dry\,air}}\right)$
$W_{\max}$	بیشترین آب موجود در ماده دسیکنت $\left(\frac{kg}{kg_{dry\,air}}\right)$
x, y	جهات مختصات (m)

علائم یونانی :

α	زاویه (rad)
θ	دمای بدون بعد
ε	بازده
ε_t	ضریب فضای تخلخل

ϕ	رطوبت نسبی
δ	نصف ضخامت کانال (m)
ω	محتوای رطوبت (کیلوگرم رطوبت به کیلوگرم هوای خشک)
ρ	چگالی $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$
ζ	فاکتور انحنا
τ	زمان بدون بعد
ξ	ضریب مقاومت

بالانویس ها :

$*$	شکل بدون بعد متغیرها

پانویس ها :

a	هوا
c	سرمایش، فرایند رطوبت‌زدایی
d	دسیکنت، رطوبت‌زدایی
g	جریان هوا (هوای خشک و بخار آب)
h	گرمایش هوای احیا برای فرایند رطوبت‌زدایی
i	ورودی
m	رطوبت
o	خروجی
opt	بهینه
s	سطح، محسوس

w	آب
x	جهت محوری
y	جهت شعاعی

فهرست جدولها

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱ بررسی پایداری معادلات با تغییر در گام زمانی ۶۱

جدول۵-۱ مشخصات چرخ دسیکنت ۶۸

جدول ۵-۲ مختصات نقاط ابتدایی، میانی و انتهایی ۶۹

جدول۵-۳ عملکرد چرخ دسیکنت در اقلیمهای مختلف ایران ۹۵

چکیده

در این تحقیق به معرفی انواع سیستمهای دسیکنت و مقایسه آنها پرداخته شده است. سپس مدلسازی ریاضی و شبیه‌سازی عددی دو بعدی چرخ دسیکنت انجام شده است. در مدل مورد مطالعه، پخش حرارت و رطوبت در دو جهت محوری و ضخامت دیواره دسیکنت در نظر گرفته شده‌است. معادلات حاکم شامل معادلات بقای جرم و انرژی می‌باشند که برای جریان هوای عبوری و ماده دسیکنت نوشته شده و به روش تفاضل محدود صریح منفصل شده‌اند. همچنین در این تحقیق برخی عوامل موثر بر بازده رطوبت‌زدایی مورد بررسی قرار گرفته است. این عوامل شامل سرعت دورانی چرخ دسیکنت، عدد واحد انتقال، ضخامت دیواره دسیکنت، سرعت هوای ورودی به کانال، طول کانال، زاویه قطاع فرایند جذب، دمای احیا و شرایط محیطی می‌باشند. نتایج بررسی نشان داد که چرخ دسیکنت مورد مطالعه، در سرعت دورانی ۰/۶دور بر دقیقه دارای بالاترین بازده رطوبت‌زدایی می‌باشد. همچنین در سرعت دورانی بهینه، هنگامی که ضخامت دیواره دسیکنت بیشتر از ۲ mm شود، افزایش ضخامت بر بازده رطوبت‌زدایی تاثیر کمتری دارد. تاثیر زاویه قطاع فرایند جذب روی بازده رطوبت‌زدایی نشان داد، در سرعت دورانی بهینه، چرخ با زاویه قطاع ۱۰۸ درجه، بالاترین بازده رطوبت‌زدایی را دارد. عملکرد چرخ دسیکنت در اقلیمهای مختلف آب و هوایی ایران برای رسیدن به یک شرایط خاص (رطوبت نسبی ۲۰ ٪) نیز مورد مطالعه قرار گرفته که نشان میدهد چرخ دسیکنت در اقلیم معتدل و مرطوب دارای بالاترین بازده رطوبت‌زدایی و در اقلیم گرم و خشک دارای کمترین بازده است.