يا حَيُّ يا قَيُّومُ

يُسَبِّحُ للّٰهِ ما فِی السَّمواتِ و ما فِی الاَرض

١٠٩١٨٩

۸۷/۱/۱۰۴۹۲۳
۸۸ - ۱۲۸

دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده علوم

بخش فیزیک

پایان نامه تحصیلی جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد فیزیک (گرایش هسته‌ای)

اندازه گیری ضریب پخش رادن در نمونه ای از خاک و بررسی تغییرات آن با رطوبت

اساتید راهنما:

دکتر عباس حسینی رنجبر

دکتر علی نگارستانی

استاد مشاور:

دکتر هرمزد نقوی

۱۳۸۷ /۱۲/ ۲۷

مؤلف:

فرناز جمادی

شهریور ۸۷

۱۰۹۱۸۶

دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

بخش فیزیک

دانشکده علوم

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچ گونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو: فرناز جمادی

اساتید راهنما: ۱- دکتر عباس حسینی رنجبر

۲- دکتر علی نگارستانی

استاد مشاور: دکتر هرمزد نقوی

داور ۱: دکتر ایوب بنوشی

داور ۲: دکتر امید حمیدی

نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر محمدمهدی یزدانپناه

حق چاپ محفوظ و مخصوص به مولف است.

دانشگاه شهید باهنر
کرمان
اداره تحصیلات تکمیلی

تقدیم به :

پدر و مادر صبور و بزرگوارم

تقدیر و تشکر:

با سپاس از خداوند منان که توفیق به پایان رساندن این پایان نامه را به من عطا فرمود.

صمیمانه ترین سپاس خود را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می‌کنم که رسیدن به این مقطع را مرهون زحمات بسیار و فداکاریشان هستم.

از اساتید محترمم آقایان دکتر حسینی رنجبر و دکتر نگارستانی که در این پروژه مرا مورد حمایت و لطف خویش قرار دادند و از راهنمایی های خود بهره‌مند ساختند، صمیمانه تشکر می‌کنم. همچنین زحمات آقای دکتر نقوی را که در انجام این پروژه مرا همراهی کردند، ارج می‌نهم.

نهایتاً ولی اولاتر، از همسر مهربانم تقدیر می‌کنم که انجام این پایان نامه را مدیون صبر و گذشتهای فراوانش هستم.

از آقای نجیب زاده مسئول کارگاه ماشین ابزار فیزیک که زحمت ساخت محفظه ضریب پخش رادن در این پایان نامه را به عهده داشتند، کمال تشکر را دارم.

چکیده

جابه‌جایی رادن از محل تولید آن (خاک) به اتمسفر توسط دو فرایند کلی انتقال و پخش صورت می‌گیرد. اما ثابت شده است که فرایند پخش در حضور این گاز در یک محیط فرایند غالب می‌باشد. پخش رادن در محیطهای متخلخلی مانند خاک از قانون فیک تبعیت می‌کند. این قانون بیان می‌کند که چگالی جریان رادن ناشی از پخش به طور خطی با گرادیان غلظت متناسب است. یکی از پارامترهای مهم معادله پخش که تعیین کننده میزان حضور رادن می‌باشد ، ضریب پخش آن است. این ضریب در میزان گاز رادن نفوذی به سطح زمین نقش بسیار مهمی ایفاء می‌کند.

رطوبت یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر ضریب پخش می‌باشد. در این تحقیق با طراحی دو محفظه مناسب تلاش نموده‌ایم ضریب پخش رادن از خاک منطقه‌ای در کرمان را اندازه‌گیری و تغییرات آن را برحسب اشباع مؤثر خاک مورد مطالعه، بررسی نمائیم.

بدین منظور خاک منطقه‌ای در مرکز تحقیقات کشاورزی کرمان انتخاب و یک روز پس از آبیاری از آن نمونه برداری شد. سپس ضریب تخلخل و اشباع مؤثر نمونه‌های خاک اندازه‌گیری و ظرف حاوی نمونه خاک بین دو محفظه قرار داده شد. محفظه اول به یک منبع رادن با جریان ثابت متصل شد و پس از افزایش غلظت درون آن، گاز رادن از درون خاک نفوذ کرد و وارد محفظه دوم گردید.

در روش حالت پایدار بعد از گذشت چند روز که رادن دو محفظه به حالت پایدار رسید، غلظت رادن دو محفظه با استفاده از آشکارساز $RAD7$ (مدل ۷۱۱ ساخت کمپانی

DURRIDGE کشور امریکا) اندازه‌گیری شد و با حل معادله پخش در یک بعد ضریب پخش برای هر نمونه خاک بدست آمد. در روش متغیر با زمان با اندازه‌گیری غلظت رادن محفظه دوم در دو زمان متفاوت این ضریب بدست آمد.

برای نمونه های خاک با اشباع مؤثر بین ۱٪ و ۵۵٪ با بکار بردن روش پایدار، ماکزیمم ضریب پخش رادن برابر $۳/۵ \times ۱۰^{-۶} m^۲ s^{-۱}$ و برای نمونه های خاک با اشباع مؤثر بین ۲۷٪ و ۶۵٪ با بکار بردن روش گذرا، مینیمم ضریب پخش برابر $۵/۴ \times ۱۰^{-۷} m^۲ s^{-۱}$ بدست آمد که تطابق خوبی با مقادیر جهانی دارند. بررسی رابطه بین ضریب پخش رادن و اشباع مؤثر خاکِ نیز نشان داد که این ضریب با افزایش اشباع مؤثر خاک کاهش می‌یابد.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول : مقدمه ۱

فصل دوم : معادله ترابرد گاز رادن در خاک ۷

۲-۱ چگونگی حضور رادن درون خاک ۸

۲-۲ الگوی ورود گاز رادن ۸

۲-۳ ضریب پخش ۸

۲-۴ ضریب خروجی گاز رادن ۱۰

۲-۵ نفوذپذیری ۱۱

۲-۶ ضریب تخلخل ۱۲

۲-۷ جابجایی گازرادن در منافذ خاک ۱۲

۲-۷-۱ ترابرد نشری ۱۲

۲-۷-۲ ترابرد انتقال ۱۳

۲-۸ معادله ترابرد رادن ۱۴

۲-۹ حل معادله ترابرد رادن ۱۵

۲-۹-۱ محاسبه غلظت رادن محفظه اول و دوم ۱۵

۲-۹-۲ ثابت زمانی تغییر شکل سیستم ۱۹

۲-۹-۳ محاسبه ثابت نشت λ_i ۲۰

۲-۱۰ محاسبه ضریب پخش ۲۱

۲-۱۰-۱ روش متغیر با زمان ۲۱

۲-۱۰-۲ روش حالت پایدار ۲۳

۲-۱۱ روشهای اندازه‌گیری ضریب تخلخل ۲۴

۲-۱۲ مقایسه روشهای اندازه‌گیری ضریب تخلخل ۲۶

۲-۱۳ روش اندازه‌گیری رطوبت ۲۷

فصل سوم : روشهای اندازه‌گیری ضریب پخش رادن ۲۸

۳-۱ روش KVI ۳۰
۳-۲ روش Oufni ۳۳
۳-۳ روش Silker & Kalkwarf ۳۶
۳-۴ روش سلول Lucas ۳۸
۳-۵ روش Fernandez & Quindos & Sainz ۴۲
۳-۶ روش Chauhan & Chakarvarti ۴۸
۳-۷ روش Feigenspan & Keller & Hoffmann ۵۰
۳-۸ مقایسه روشهای اندازه‌گیری ضریب پخش ۵۱
فصل چهارم : روش آزمایش و نتایج ۵۳
۴-۱ دستگاه اندازه‌گیری ضریب پخش رادن ۵۴
۴-۲ محاسبه ثابت نشت λ_i ۵۸
۴-۲-۱ ثابت نشت کل سیستم ۵۸
۴-۲-۲ نشت محفظه کوچک ۶۰
۴-۲-۳ نشت محفظه بزرگ ۶۲
۴-۲-۴ نشت آشکارساز ۶۴
۴-۲-۵ نشت از اطراف ظرف خاک ۶۵
۴-۳ اندازه‌گیری جریان رادن منبع ۶۶
۴-۴ روش تهیه نمونه خاک ۶۸
۴-۵ روش اندازه‌گیری رطوبت نمونه های خاک ۶۹
۴-۶ روش اندازه‌گیری و محاسبه تخلخل نمونه های خاک ۷۱
۴-۷ محاسبه ضریب پخش رادن برای خاکهایی با رطوبتهای مختلف ۷۳
الف : روش حالت پایدار ۷۴
ب : روش متغیر با زمان ۷۷
۴-۸ بررسی تغییرات ضریب پخش با رطوبت ۸۰
فصل پنجم : بحث و نتیجه گیری ۸۱

فصل اول

مقدمه

مقدمه

قبل از سال ۱۹۷۰ دانشمندانی از جمله شرودر (Schroder) تلاشهایی در جهت اندازه‌گیری ضریب پخش[۱] رادن انجام داده‌اند [۱] ؛ اما تحقیقات جدی در زمینه رادن ورودی به ساختمانهای محل زندگی انسان از سال ۱۹۷۰ میلادی آغاز شد و رادن به عنوان یک گاز پرتوزای طبیعی مورد توجه قرار گرفت.

از اواسط دهه ۱۹۸۰ تاکنون موضوع قرار گرفتن انسان در معرض خطرات ناشی از دختران رادیواکتیو رادن به صورت یک موضوع مهم مطرح شده است. این مسئله به سه دلیل دارای اهمیت اساسی می‌باشد:

(۱) قسمت اعظم دز تابشی دریافت شده توسط انسان، شامل رادن و دختران آن است.

(۲) بیشتر افراد در معرض تابشهایی هستند که دهها یا صدها برابر بیشتر از حد مجاز می‌باشد.

(۳) احتمال مبتلا شدن به سرطان ریه از طریق استنشاق رادن بیشتر از سایر آلوده‌کننده‌های محیطی می‌باشد.

حدود ۱۲٪ از مرگ و میرهای ناشی از سرطان ریه در امریکا در اثر استنشاق رادن می‌باشد، به طوریکه مرگ و میر ناشی از سرطان ریه در اثر استنشاق رادن در امریکا سالیانه بین ۱۳۰۰۰ تا ۱۶۰۰۰ نفر تخمین زده شده است [۲].

---

[۱] Diffusion coefficient

دلیل سرطان زا بودن رادن این است که وقتی از طریق تنفس وارد ریه می‌شود، خود یا دختران آن در بافتهای تنفسی ذخیره شده و در آنجا αواپاشی می‌کنند و به بافتهای تنفسی آسیب جدی می‌رسانند [۲].

خروج گاز αزای رادن نشان‌دهنده حضور رادیم و عنصر مادر آن اورانیوم در پوسته زمین است. هرچه که خاک یک منطقه اورانیوم بیشتری داشته باشد، میزان رادن موجود در هوای آن منطقه بیشتر خواهد بود. این گاز آزادانه از درون خاک پخش می‌شود و مسافت قابل توجهی را در طول نیمه عمر کوتاهش طی می‌کند. این مسافت به فاکتورهایی نظیر ضریب پخش، ضریب تخلخل[۱]، ضریب بروندهی[۲]و نفوذپذیری[۳] مؤثر خاک بستگی دارد [۳].

پخش رادن در محیطهای متخلخلی مانند خاک با پخش ایزوتوپهای دیگر آن که شامل تورون[۴] $Rn^{۲۲۰}$ و اکتینون[۵] $Rn^{۲۱۹}$ است، قابل مقایسه می‌باشد [۴]. اما به این دلیل که نیمه عمر رادن ($Rn^{۲۲۲}$) ۳/۸ روز است و از نیمه عمر تورون $Rn^{۲۲۰}$ و اکتینون $Rn^{۲۱۹}$ (که به ترتیب دارای نیمه عمر ۵۶ ثانیه و ۴ ثانیه می‌باشند) بیشتر است، فرصت خیلی بیشتری برای پخش شدن پیدا می‌کند. در نتیجه رادن ($Rn^{۲۲۲}$) از تورون واکتینون بیشتر مورد توجه گرفته است [۲].

جابه‌جایی رادن از محل تولید آن (خاک) به اتمسفر توسط دو فرایند کلی انتقال[۶] و پخش[۷] صورت می‌گیرد [۲]. وقتی رادن از طریق فرایند انتقال جابه‌جا می‌شود که گرادیان فشار وجود داشته باشد و و وقتی از طریق پدیده پخش وارد جو می‌شود که تغییرات غلظت وجود داشته

---

[۱] Porosity
[۲] exhalation
[۳] Permeability
[۴] Thoron
[۵] Actinon
[۶] advection
[۷] diffusion

باشد [۲]. معادله کلی حاکم بر انتقال و انتشار رادن معادله ترابرد رادن نامیده می‌شود. زمانی که تغییر فشار وجود ندارد، معادله ترابرد به معادله پخش تبدیل می‌شود. یکی از فاکتورهای مهم معادله پخش که تعیین کننده میزان پخش رادن می‌باشد، ضریب پخش آن است و به عوامل مختلفی از جمله دما[۱]، رطوبت[۲] ، ضریب تخلخل و نفوذپذیری مؤثر خاک بستگی دارد [۳] و [۵].

سازوکار غالب جهت انتشار گاز رادن، از عمق ۰/۵ متری تا سطح زمین مکانیزم جریان دیفیوژن می‌باشد؛ بنابراین ضریب پخش نقش بسیار مهمی در میزان گاز رادن نفوذی به سطح زمین را دارا می‌باشد. به طوریکه برای ارزیابی یک منطقه از نظر پتانسیل رادن موجود در آن، از دو فاکتور غلظت آن در عمق یک متری و ضریب پخش گاز رادن آن منطقه استفاده می‌شود.

بالا بودن ضریب پخش رادن در خاک یک منطقه و یا مصالح بکار رفته در یک ساختمان باعث می‌شود که غلظت رادن ورودی به ساختمانها درآن منطقه زیاد شود [۶]. بنابراین اندازه‌گیری ضریب پخش رادن اهمیت زیادی پیدا می‌کند.

دو روش کلی برای اندازه‌گیری آن وجود دارد:

(۱)روش گذرا[۳]

(۲)روش حالت پایدار[۴]

در روش گذرا ضریب پخش از حل معادله پخش متغیر با زمان بدست می‌آید و با اندازه‌گیری غلظت رادن در دو زمان متفاوت ضریب پخش حاصل می‌شود [۷]. در روش حالت

---

[۱] Temperature
[۲] Moisture
[۳] transient
[۴] Steady_state

پایدار بعد از رسیدن رادن به حالت تعادل، غلظت رادن درون دو محفظه اندازه‌گیری می‌شود و سپس از طریق حل معادله مستقل از زمان پخش ضریب پخش بدست می‌آید [۸].

تحقیقات بسیاری جهت اندازه‌گیری ضریب دیفیوژن گاز رادن برای خاک و محیطهای متخلخل دیگر انجام شده است. به عنوان مثال آفنی (Oufni) با قرار دادن نمونه خاک بین دو قسمت یک ظرف پلاستیکی و بستن آن به مدت سه ماه و استفاده از آشکارساز $LR-115$ در حالت تعادل، ضریب پخش را بین $۱/۲۶\times۱۰^{-۶}\ m^۲/s$ تا $۴/۳\times۱۰^{-۶}\ m^۲/s$ بدست آورد [۳]. در سال ۲۰۰۱ کلر (Keller) و همکارانش مقدار ضریب پخش را برای سنگ شنی با ضخامت ۰/۱ متر برابر $۲/۲\times۱۰^{-۶}\ m^۲/s$ بدست آوردند [۶]. در سال ۲۰۰۱ چاکاوارتی و چاهان (Chauhan & Chakarvarti) یک نمونه خاک خشک را در یک ستون ریختند و با استفاده از تغییرات غلظت رادن بر حسب ارتفاع ستون خاک، ضریب پخش را $۳/۲\times۱۰^{-۶}\ m^۲/s$ ارزیابی کردند [۹]. سیلکر (Silker) و کاکوارف (Kalkwarf) در سال ۱۹۸۳ ضریب پخش را برای خاکهایی با رطوبت ۰/۳۴- ۰/۰۵، $(۳/۲\pm۱/۵)\times۱۰^{-۶}\ m^۲/s$ بدست آوردند [۴]. در سال ۱۹۹۱ راجرز (Rogers) و نیلسون (Nielson) نشان دادند که این ضریب با افزایش رطوبت کاهش می‌یابد و ضریب پخش را به عنوان تابعی از رطوبت و ضریب تخلخل بدست آوردند [۱۰]. اساس کار بسیاری از این تحقیقات، قرار دادن نمونه خاک بین دو ظرف و اندازه گیری غلظت گاز رادن در دو ظرف مجاور نمونه خاک می‌باشد.

وابستگی ضریب پخش به رطوبت بیش از وابستگی آن به دماست [۴] . بنابراین هدف در این پایان نامه اندازه‌گیری کردن ضریب پخش خاک ناحیه‌ای از کرمان برای رطوبتهای مختلف و بررسی تغییرات ضریب پخش با رطوبت می‌باشد.

در فصل دوم معادله ترابرد رادن برای سیستم اندازه‌گیری ضریب پخش نوشته شده و از طریق حل معادله ترابرد ضریب پخش به صورت تئوری بدست آمده است. در اکثر روشهایی که در فصل سوم ذکر خواهد شد اندازه‌گیری ضریب پخش رادن بر اساس پخش در حالت پایدار انجام شده است؛ اما در این پایان نامه ضریب پخش از دو روش گذرا و حالت پایدار اندازه‌گیری شد. روش حالت پایدار نیازمند زمانی نسبتاً طولانی می‌باشد؛ در حالیکه اندازه‌گیری به روش گذرا سریعتر انجام می‌شود و در این روش با اندازه‌گیری غلظت در یک بازه زمانی نسبتاً کوتاه می‌توان ضریب پخش را به راحتی محاسبه کرد.

در فصل چهارم مقادیر اندازه‌گیری شده از آزمایشها ذکر شده است و ضریب پخش بدست آمده است. در فصل پنجم به بحث و نتیجه‌گیری موضوع پرداخته شده است.

فصل دوم

معادله ترابرد گاز رادن در خاک

۲-۱ چگونگی حضور رادن درون خاک

اتمهای رادن در خاک به چهار صورت توزیع شده اند [۲]:

۱)اتمهای رادن درون دانه های خاک؛ ۲) اتمهای رادن جذب شده روی سطح دانه های خاک؛

۳) اتمهای رادن در آب درون منافذ خاک؛ ۴) اتمهای رادن در گاز درون منافذ خاک.

۲-۲ الگوی جابجایی گاز رادن

مراحل تولید و جابجایی گاز رادن را می‌توان به دو مرحله تقسیم کرد:

۱- تولید یا زایش گاز رادن در خاک،

۲- جابجایی گاز رادن از خاک به اتمسفر.

گاز رادن قادر است پس از تولید از دانه‌های خاک خارج شود و مسافتی را طی کند که توسط فاکتورهایی مثل ضریب پخش، ضریب خروج گاز رادن، نفوذپذیری مؤثر خاک و ضریب تخلخل تعیین می‌شود.

۲-۲-۱ ضریب پخش

ضریب پخش رادن در یک محیط متخلخل (خاک) معیاری از میزان پخش رادن در آن محیط است که به ساختار منافذ، نوع مایعات جاری در منافذ، خاصیت جذب سطحی مواد تشکیل دهنده آن محیط، دما و رطوبت بستگی دارد [۴].

ضریب پخش مؤثر D_e به صورت نسبت چگالی شار پخشی رادن عبور کرده از میان منافذ خاک به گرادیان غلظت در فضای منافذ و ضریب پخش توده‌ای از خاک D به صورت نسبت چگالی شار پخشی رادن عبور کرده از مساحت سطحی محیط به گرادیان غلظت در فضای منافذ خاک تعریف می‌شود (قانون فیک بخش ۲-۳-۱). برای یک خاک خشک رابطه D با D_e به صورت زیر است:

$$D = \varepsilon D_e \qquad (۲-۱)$$

ε ضریب تخلخل خاکی است که منافذ آن با هوا پر شده است و D_e ضریب پخش مؤثر بر حسب $m^۲ s^{-۱}$ می باشد.

برای خاک مرطوب رابطه بالا به صورت زیر در می‌آید [۱۱]:

$$D = \beta D_e \qquad (۲-۲)$$

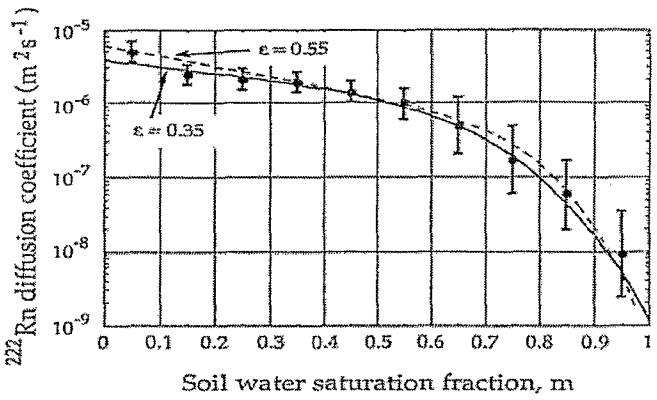
که در آن β ضریب تخلخل خاک مرطوب است که به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۱]:

$$\beta = (۱ + mL - m)\varepsilon \qquad (۲-۳)$$

در رابطه بالا ε ضریب تخلخل خاک خشک، m نسبت رطوبت یا کسری از منافذ پر شده با آب و L نسبت میزان رادن در آب به میزان رادن در هواست (مقدار L حدوداً برابر ۰/۲۵ است).

عموماً ضریب پخش در خاک با رطوبت کم برابر $(m^۲ s^{-۱})$ ۳×۱۰^{-۶} و در خاک اشباع شده برابر $(m^۲ s^{-۱})$ ۲×۱۰^{-۱۰} می‌باشد. دلیل کم شدن ضریب پخش رادن با وجود رطوبت را می‌توان پر شدن کسری از منافذ خاک دانست.

نتایج حاصل از مطالعه ضریب پخش رادن به عنوان تابعی از منافذ پر شده با آب که توسط راجرز[۱] و نیلسون[۲] در سال ۱۹۹۱ بررسی شده است ، در شکل (۲-۱) آورده شده است.



شکل (۲-۱) تأثیر میزان رطوبت روی ضریب انتشار رادن در منافذ خاک [۱۰]

برای رطوبت‌های پایین ضریب پخش تابعیت اندکی از رطوبت دارد، زیرا در رطوبت کم، آب روی سطح دانه‌های خاک و در منافذ ریز قرار می گیرد و پخش از منافذ بزرگتر انجام می‌شود. هنگامی که خاک به حالت اشباع نزدیک می‌شود، منافذ بزرگتر درون خاک پرشده و ضریب پخش کاهش می‌یابد. D_e همچنین تابعی از عمق می باشد و به محل اندازه گیری نیز بستگی دارد.

۲-۲-۲ ضریب خروج گاز رادن

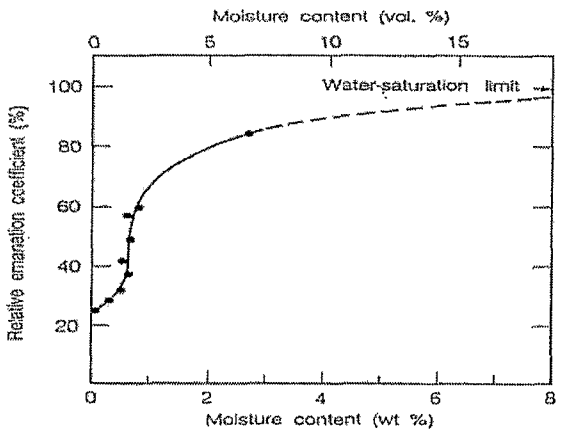
هسته رادن تولید شده از واپاشی رادیم (^{۲۲۶}Ra) بر طبق اصل پایستگی اندازه حرکت خطی، اندازه

[۱] Rogers
[۲] Nielson

حرکتی بدست می‌آورد که آنرا قادر می‌سازد از دانه خاک وارد منافذ شود، این فرایند را بازگشت[1] می‌نامند [۴]. این فرایند باعث خروج رادن از دانه خاک می‌شود.

تنها قسمتی از رادن تولید شده درخاک، دانه‌های خاک را ترک می‌کند و وارد منافذ درون خاک می‌شود. نسبت رادنی که دانه های خاک را ترک می‌کند به رادن تولید شده درآن به عنوان ((ضریب خروج گاز رادن[2])) تعریف می‌شود [۲].

تأثیر میزان رطوبت بر ضریب خروج گاز رادن از سنگ معدن اورانیوم که توسط استرانگ[3] و لوینز[4] مطالعه گردیده است [۱۳]، در شکل (۲-۲) آورده شده است. تغییرات رطوبت بر ضریب خروج رادن از خاک نیز تأثیر زیادی می‌گذارد. رطوبت ساختار دانه خاک را به هم می‌ریزد، از این رو با افزایش رطوبت گاز رادن بیشتری می‌تواند از خاک خارج شود؛ بنابراین این ضریب در مناطق مرطوب بیشتر از مناطق خشک است. با افزایش دما نیز احتمال جذب سطحی رادن روی دانه‌های خاک کمتر شده و ضریب خروج افزایش می‌یابد. ضریب خروج به توزیع منافذ خاک هم وابسته است.



شکل (۲-۲) تأثیر میزان رطوبت بر ضریب خروج گاز رادن برای یک نمونه از سنگ معدن اورانیوم [۱۳]

[1] recoil
[2] Emanation Coefficient
[3] Strong
[4] Levins