J. of Nuclear Sci. and Tech.
No. 44, pp. 40-44, 2008

مجله علوم و فنون هسته‌ای
شماره ٤٤، صفحات ٤٤-٤٠، ١٣٨٧

Archive of SID

Sci. and Tech. note
یادداشت علمی و فنی

طراحی سیستم تیکنر برای جداسازی محلول فروشویی اسیدی از ذرات جامد در کارخانه اکسید اورانیوم بندرعباس

احمد غدیری*[1]، عبدالمطلب حاجتی[2]، علی‌حسین علاقبند[1]، رضا عسگری[1]، علی ولیوند[1]

۱- گروه پژوهشی اکتشاف و استخراج، پژوهشکده سوخت، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۸۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران ـ ایران

۲- گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی مهندسی اراک، دانشگاه علم و صنعت ایران، صندوق پستی: ۱۱۷۷-۳۸۱۳۵، اراک ـ ایران

چکیده: فرایند جداسازی جامد از مایع، یکی از بخش‌های مهم در کارخانه‌های کانه‌آرایی و فرآوری مواد معدنی محسوب می‌شود. یکی از مشکلات موجود در کارخانه اکسید اورانیوم بندرعباس، جداسازی فاز محلول حاوی اورانیوم از مواد جامد باقیمانده پس از فروشویی است. وجود ترکیبات رس‌دار و درصد نرمه بالا (زیر ۲۰۰ مش) در خوراک ورودی به واحد فروشویی، مشکلات فراوانی را در بخش تصفیه ایجاد نموده است. برای این منظور، آزمایشهایی برای بررسی فرایند جداسازی محلول از جامد انجام گردید. نتایج بررسی‌ها نشان داد که تیکنر، گزینه مناسبی برای جداسازی محلول از جامد، در فرایند پس از فروشویی کارخانه بندرعباس است. با انجام آزمایش‌های ته‌نشینی، لخته‌ساز (فلوکولانت) مناسب جهت فرایند تیکنر، Magna floc LT-25 با غلظت ۷۵ (گرم در هر تن خاک) تعیین گردید. همچنین با انجام آزمایش‌های متعدد برای تعیین قطر تیکنر، این قطر در حدود ۱۴-۱۳ متر حساب شد. برای جلوگیری از اتلاف اورانیوم محلول در دوغاب حاصل از فروشویی، ۵ تیکنر شستشو با جریان مخالف پیشنهاد شد. درصد اتلاف اورانیوم محلول با ۵ تیکنر جریان مخالف، ۲/۰۹٪ تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: *تیکنر، اکسید اورانیوم، Magna floc LT-25، فرایندهای جداسازی*

Design of Thickener for Separation of Acidic Leach Liquor from Residual Solid Particles in Bandar Abbas Uranium Plant

A. Ghadiri*[1], A. Hajati[2], A.H. Alaghband[1], R. Asgari[1], A. Valivand[1]

1- Exploration and Exploitation Research Section, Nuclear Fuel Cycle Research Center, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O. Box: 11365-8486, Tehran - Iran

2- Mine Engineering Group, Arak Technical Faculty, Iran Science and Technology Univercity, P.O. Box: 38135-1177, Tehran - Iran

Abstract: Solid-liquid separation is one of the most important sections in mineral processing. High percentage of clay material and fine particles (-200 mesh) cause different problems in separation of uranium leach liquor from the residual solid particles in filtration unit of Bandar Abbas Uranium Plant (BUP). The laboratory tests showed that thickener is a suitable device for solid-liquid separation, after leaching unit. For this reason, thickeners were selected for separating of leach liquor from the residual solid particles. For determination of the size and number of thickeners, sedimentation experiments were performed with different flocculants, "Magna floc LT-25" was selected as a suitable flocculant in 75 g/ton. The diameter of thickener was determined to be 13-14 m. In the counter current decantation (CCD), the loss percentage of uranium, using 5 thickeners, was selected to be 2.09%.

Keywords: *Thickener, Uranium Oxide, Magna Floc LT-25, Separation Processes*

*email: amghadiri@aeoi.org.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۴/۹/۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۵/۷/۱۱

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

اکثر روش‌های کانه‌آرایی و فرآوری مواد معدنی، در محیطی که محتوی مقدار قابل توجهی آب است انجام می‌شوند. در فرایندهای هیدرومتالوژیکی مانند لیچینگ، جداسازی فاز آبی باردار از فاز جامد باقیمانده، امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد [۱]. در کارخانه اکسید اورانیوم بندرعباس، خاک حاوی اورانیوم در واحد لیچینگ، حل می‌شود، که خروجی این مرحله شامل دوغابی حاوی مواد جامد حل نشده و محلول باردار حاوی اورانیوم می‌باشد. از آنجاییکه محلول باردار اورانیوم، که در واحد استخراج حلالی (Solvent Extraction) با فاز آلی در تماس قرار می‌گیرد، می‌بایست عاری از ذرات جامد باشد، لذا ضرورت جداسازی محلول باردار از ذرات جامد مشخص می‌گردد. جهت جداسازی محلول از جامد، می‌توان از دو روش فیلتراسیون و یا تیکنر استفاده کرد.

با توجه به وجود نرمه بالا و ترکیبات رس‌دار در خوراک ورودی و همچنین آزمایشهای انجام شده، مشخص شد که عملیات فیلتراسیون، گزینه مناسبی جهت جداسازی محلول از جامد، در فرایند پس از فروشویی در کارخانه اکسید اورانیوم بندرعباس نمی‌باشد [۲]. برای این منظور، آزمایش‌هایی در مرکز کانه‌آرایی سازمان انرژی اتمی ایران، جهت تعیین اندازه و تعداد تیکنر، به روش شستشوی جریان مخالف (CCD)، به عمل آمد که نتایج آن در ادامه مقاله ارائه می‌گردد.

«تیکنر»ها حوضچه‌هایی هستند که عملیات ته‌نشینی یا جداسازی محلول از جامد در آنها بر اساس نیروهای گرانش و گریز از مرکز انجام می‌گیرد، فاز زلال (سرریز) از بالای تیکنر و بخش دوغاب غلیظ شده از کف تیکنر (ته‌ریز) خارج می‌گردد. تیکنرها انواع مختلفی دارند، از مهمترین آنها می‌توان به تیکنر معمولی[۱]، تیکنر صفحه‌ای[۲]، تیکنر لاملا[۳]، تیکنرهای مخروطی عمیق[۴] و تیکنرهای نرخ بالا[۵] اشاره کرد [۳].

برای تعیین سطح و قطر مناسب تیکنر، روش‌های مختلفی ارائه شده است، روش «کو و کلن‌ونگر» (Coe & Clenvenger) و روش «فیچ و تالمیج» (Fitch & Talmadge)، دو روش برای تعیین سطح و قطر مناسب تیکنر در فرایند جداسازی محلول از جامد می‌باشند [۱].

در روش «کو و کلن‌ونگر»، آزمایشهای ته‌نشینی ذرات در یک سری دوغاب با درصدهای جامد مختلف انجام می‌گیرد. هر دوغاب با غلظت مشخص را درون استوانه مدرجی با حجم ۱۰۰۰cc ریخته و پس از اختلاط کامل، استوانه را جهت ته‌نشین شدن ذرات به حالت سکون قرار می‌دهند. در این شرایط، سرعت ته‌نشینی ذرات در فواصل زمانی مشخص، با اندازه‌گیری سرعت پایین رفتن خط گِل[۶] اندازه‌گیری و ثبت می‌شود.

با توجه به داده‌های حاصل از آزمایش، می‌توان سطح تیکنر را با استفاده از رابطه «کو و کلن‌ونگر»، حساب کرد:

$$A = \frac{(F - D)W}{RS}$$

در این رابطه، A سطح تیکنر (m^2)، F نسبت وزنی مایع به جامد در هر نقطه از راستای قائم تیکنر (رقت)، D نسبت وزنی مایع به جامد در بخش ته‌ریز، W مقدار جامد ورودی به تیکنر (ton/hr)، R سرعت ته‌نشینی (m/hr) و S وزن مخصوص مایع (ton/m^3)، می‌باشد. با محاسبه سطح تیکنر در غلظت‌های مختلف، می‌توان بیشترین سطح حساب شده را به عنوان سطح موردنظر انتخاب کرد.

«فیچ و تالمیج»، روشی را برای محاسبه سطح تیکنر تعیین کردند که به «روش اصلاح شده فیچ و تالمیج» معروف است. این روش نسبت به روش قبل دارای این مزیت است که تنها با یک آزمایش ته‌نشینی می‌توان منحنی تغییرات سرعت ته‌نشینی آزاد را نسبت به غلظت بدست آورد. در این شرایط، آزمایش ته‌نشینی بر روی دوغابی با غلظت اولیه X_f انجام می‌گیرد.

$$A = \frac{Wt_u}{C_0 H_0}$$

در این رابطه، C_0 غلظت اولیه خوراک (ton/m^3)، H_0 ارتفاع اولیه خط گِل (m)، t_u زمان لازم برای تراکم گِل (hr) می‌باشد. برای تعیین زمان ته‌نشینی تراکم (t_u)، می‌توان از دو روش ترسیمی «کینچ» (Kynch) و «اولتمان» (Oltmann) استفاده کرد [۴].

در روش «کینچ» فرض بر این است که در دو محدوده زمانی (در ابتدای ته‌نشینی و در زمان‌های طولانی ته‌نشینی) سرعت ته‌نشین شدن دارای مقادیر ثابتی است. از نقطه تقاطع دو مماس بر نمودار، نیمساز رسم می‌شود، از محل تقاطع این نیمساز با منحنی ته‌نشینی، مماس دیگری رسم می‌شود، محل تلاقی این مماس با

www.SID.ir

Archive of SID

نمودار غلظت نهایی جامد در ته‌ریز (ارتفاع نهایی خط گِل در استوانه مدرج)، مدت ته‌نشینی تراکم (t_u) بدست می‌آید.

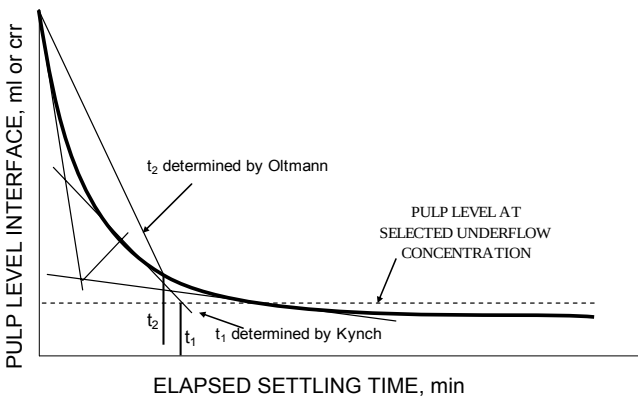
در روش «اولتمان» خط مستقیمی از شروع منحنی ته‌نشینی به منطقه‌ای که احساس می‌شود فشردگی از آنجا آغاز می‌شود رسم می‌گردد، با امتداد دادن این خط به خط ته‌ریز، t_u بدست می‌آید.

شکل ۱، روش ترسیمی جهت تعیین زمان تراکم با استفاده از این دو روش را نشان می‌دهد.

لازم به ذکر است که سطح تیکنر حساب شده با روش «کو و کلن‌ونگر» زیر حد تخمین[۷] است. بنابراین باید از ضریب اطمینان ۳۰-۲۵ درصد استفاده کرد. اما روش «فیچ و تالمیج» بالای حد تخمین بوده[۸] و نیاز به ضریب اطمینان ندارد.

۲- روش تحقیق

برای انجام دادن آزمایش‌های ته‌نشینی، ابتدا نمونهٔ خاک اورانیوم‌دار کارخانه اکسید اورانیوم بندرعباس، تحت شرایط بهینه شده در جدول ۱، با اسید سولفوریک (ساخت شرکت مرک) فروشویی شد. سپس با استفاده از مقادیر مختلف آب اسیددار (pH=۱/۵) و لخته‌ساز، درصد جامد در دوغاب از ۵۰٪ به ۳۰٪ تقلیل داده شد. در ادامه کار، مقدار یک لیتر از دوغاب ۳۰٪، درون استوانه‌های مدرج یک لیتری ریخته شد. با چسباندن یک نوار چسب کاغذی روی بدنه استوانه مدرج، تغییرات ارتفاع خط گِل از زمان شروع ته‌نشینی، با زمان‌سنج ثبت گردید. در انتهای هر آزمایش، نوار چسب از بدنه استوانه جدا گردیده و روی سطح صاف چسبانده شد، سپس با استفاده از خط‌کش مدرج این تغییرات اندازه‌گیری گردید.



شکل ۱- تعیین نقطه فشردگی (t_u) با استفاده از روش کینچ و اولتمان.

جدول ۱- شرایط بهینه آزمایش فروشویی.

زمان (hr)	دما ($^{\circ}C$)	اسید سولفوریک مصرفی (Kg/ton)	رقت (L/S)	d_{80} عبوری نمونه (mesh)
۲/۵	۶۰	۸۰	۱	۶۰

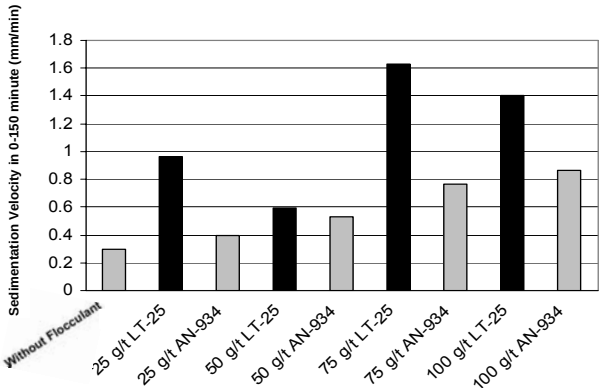
۳- نتایج و بحث

۳-۱ انتخاب و بهینه‌سازی لخته‌ساز مناسب

برای افزایش سرعت ته‌نشینی ذرات در تیکنر از فرایند لخته‌سازی استفاده می‌شود. این فرایند با استفاده از پلیمرهای آلی با زنجیره بلند، با نام لخته‌ساز[۹] صورت می‌گیرد. لخته‌سازها منجر به ایجاد پُلی بین ذرات دانه‌ریز می‌گردند که باعث تسریع در سرعت ته‌نشینی این ذرات می‌شود. به این منظور لخته‌سازهای مختلفی برای افزایش سرعت ته‌نشینی مورد استفاده قرار گرفت، از جمله دو لخته‌ساز با نام‌های تجاری Magna floc LT-25 و AN-934 MPM نتایج مطلوبتری را نسبت به دیگر لخته‌سازها نشان دادند. به همین جهت برای انتخاب لخته‌ساز مناسب، آزمایشهای مقایسه‌ای در غلظت‌های مختلف این دو لخته‌ساز به عمل آمد.

سرعت ته‌نشینی در غلظت‌های مختلف هر دو لخته‌ساز در شکل ۲ نشان داده شده است.

بطوری که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، سرعت ته‌نشینی، در شرایطی که از Magna floc LT-25 استفاده می‌شود، در هر غلظت دارای تراز بالاتری نسبت به AN-934 MPM است. که نشان‌دهنده مناسب بودن Magna floc LT-25 می‌باشد، علاوه بر این مشخص گردید که سرعت ته‌نشینی، در شرایطی که از Magna floc LT-25 با غلظت ۷۵g/ton استفاده می‌شود، دارای بیشترین سرعت ته‌نشینی می‌باشد، لذا Magna floc LT-25 با غلظت ۷۵g/ton، به عنوان لخته‌ساز مطلوب انتخاب شد.



شکل ۲- مقایسه سرعت ته‌نشینی لخته‌سازهای Magna floc LT-25 و AN-934 MPM در ۱۵۰ دقیقه اولیه.

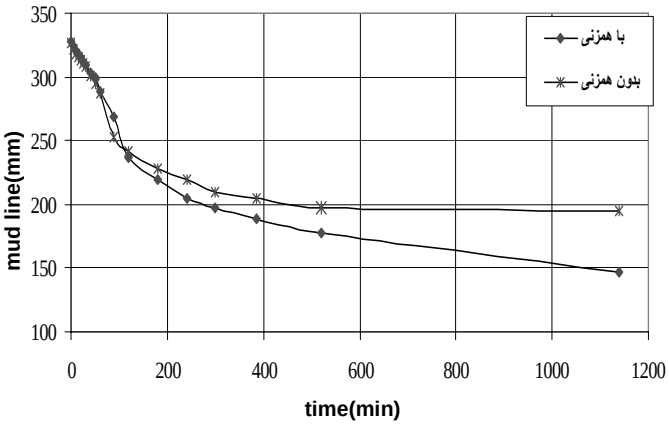
www.SID.ir

Archive of SID

۳-۲ بررسی نقش همزنی بر افزایش درصد جامد نهایی

وجود ترکیبات کربناته در خاک اورانیوم‌دار بندرعباس، باعث تشکیل گاز دی‌اکسیدکربن می‌شود، که در فرایند ته‌نشینی، بین ذرات جامد گیر افتاده و منجر به کاهش درصد جامد نهایی در تیکنر می‌گردد. به همین منظور آزمایش‌هایی تحت شرایط همزنی و بدون همزنی با استفاده از لخته‌ساز Magna floc LT-25 (۷۵g/ton) به عمل آمد. شکل ۳، نمودار تغییرات خط گِل در واحد زمان را در شرایط همزنی و بدون همزنی نشان می‌دهد.

با توجه به نمودار شکل ۳ مشخص شد که درصد جامد نهایی در گِل ته‌نشین شده پس از آزمایش ته‌نشینی، در شرایط بدون همزنی و همزنی از ۴۵/۴٪ به ۵۹/۰۴٪ افزایش یافته است. بنابراین انتخاب شرایط همزنی در افزایش مقدار درصد جامد خروجی تیکنر بسیار مؤثر خواهد بود، بنابراین آزمایشهای بعدی در شرایط همزنی انجام خواهند گرفت.



شکل ۳- نمودار تغییرات خط گِل نسبت به تغییرات زمان در شرایط با همزنی و بدون همزنی.

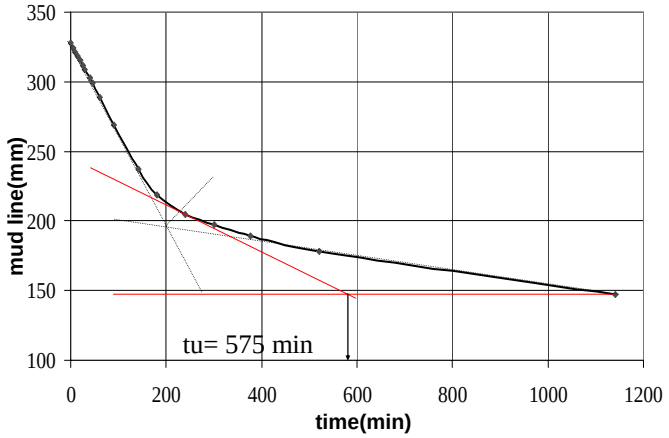
جدول ۲- شرایط آزمایش ته‌نشینی جهت محاسبه سطح تیکنر.

لخته‌ساز	غلظت (g/ton)	d_{80} عبوری نمونه (mesh)	جامد اولیه ٪	جامد نهایی ٪
Magna floc LT-25	۷۵	۶۰	۳۰	۵۹/۰۴

۳-۳ محاسبه سطح تیکنر

برای محاسبه سطح تیکنر، آزمایشهایی با استفاده از لخته‌ساز Magna floc LT-25 در غلظت ۷۵g/ton انجام گردید. برای محاسبه سطح تیکنر، از دو روش «کو و کلن‌ونگر» و «فیچ و تالمیج» استفاده شد. جدول ۲ و شکل ۴، به ترتیب شرایط آزمایش ته‌نشینی و تغییرات ارتفاع خط گِل را برحسب زمان ته‌نشینی نشان می‌دهند. نقطه تراکم (t_u) با استفاده از روش ترسیمی «کینچ»، t_u=۵۷۵ min تعیین گردید.

جدول ۳، نتایج حاصل از محاسبه سطح تیکنر با استفاده از هر دو روش را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، قطر تیکنر با استفاده از روش «فیچ و تالمیج» ۱۴/۱۴ متر و با استفاده از روش «کو و کلن‌ونگر» ۱۲/۹۴ متر حساب شد.



شکل ۴- تغییرات ارتفاع خط گِل برحسب زمان‌های مختلف ته‌نشینی.

جدول ۳- نتایج حاصل از محاسبه سطح تیکنر با استفاده از دو روش «کو و کلن‌ونگر» و «فیچ و تالمیج».

روش فیچ و تالمیج							
W (ton/hr)	C_o (ton/m^3)	H_o (m)	t_u (hr)	A (m^2)	d (m)		
۲	۰/۳۷۲	۰/۳۲۸	۹/۵۸	۱۵۷/۰۸	۱۴/۱۴		
روش کو و کلن‌ونگر							
W (ton/hr)	F	D	R (m/hr)	S (ton/m^3)	A (m^2)	A* (m^2)	d* (m)
۲	۲/۳۴	۰/۶۹	۰/۰۳۰۷۵	۱/۰۲	۱۰۵/۲۱	۱۳۱/۵۱	۱۲/۹۴

*سطح محاسبه شده با ضریب اطمینان ۲۵٪

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴- شرایط در نظر گرفته شده برای واحد فروشویی و تیکنر.

اورانیوم در خوراک اولیه	راندمان فروشویی ٪	اورانیوم در محلول فروشویی	جامد ورودی به تیکنر ٪	جامد در تهریز تیکنر ٪
۱۹۵۰ ppm	۹۰	۱۷۵۵ ppm	۳۰	۵۵

جدول ۵- میزان اتلاف اورانیوم برای ۱ تا ۶ تیکنر با جریان مخالف.

تعداد تیکنرها	۱	۲	۳	۴	۵	۶
مقدار درصد اتلاف اورانیوم	۳۵/۱۹	۱۵/۵۰	۷/۶۴	۳/۹۶	۲/۰۹	۱/۱۲

در نهایت، با توجه به جنبه‌های زیست محیطی و خطرهای ناشی از رهاسازی ترکیبات اورانیوم‌دار محلول در محیط، ۵ تیکنر با جریان مخالف برای کارخانه تولید اکسید اورانیوم بندرعباس در نظر گرفته شد.

۴- نتیجه‌گیری

- لخته‌ساز Magna floc LT-25، به عنوان لخته‌ساز مطلوب در فرایند جداسازی مایع از جامد، با استفاده از تیکنر انتخاب و غلظت بهینهٔ آن g/ton ۷۵ تعیین گردید.
- انجام عملیات همزنی، منجر به افزایش مقدار جامد نهایی از ۴۵/۴٪ به ۵۹/۰۴٪ شد.
- با محاسبهٔ سطح تیکنر به وسیلهٔ دو روش «کو و کلن‌ونگر» و «فیچ و تالمیج»، قطر تیکنر بین ۱۴-۱۳ متر تعیین گردید.
- با توجه به میزان کاهش اتلاف اورانیوم محلول، با افزایش تعداد تیکنرهای شستشو و انجام محاسبات اتلاف اورانیوم محلول در ۱ تا ۶ تیکنر، ۵ تیکنر برای کارخانه اکسید اورانیوم بندرعباس انتخاب شد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از جناب آقای مهندس آصفی، مشاور محترم این پروژه، سپاسگزاری و قدردانی می‌گردد.

پی‌نوشت‌ها:

۱- Conventional Thickener
۲- Tray Thickener
۳- Lamella Thickener
۴- Deep Cone Paste Thickener
۵- Hi-Rate Thickener
۶- Mud Line
۷- Understimate
۸- Overstimate
۹- Flocculant

References:

1. ح. نعمت‌اللهی، کانه‌آرایی، جلد دوم، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، چاپ سوم (۱۳۸۱).

2. B.A. Wills, "Mineral Processing Technology," Second Ed, Pergamon Press, 369- 392 (1981).

3. A. Sincero, "Correction to the Method of Talmadge and Fitch," Morgan State University, htte://home.comcast.net/sincero/downloods/TF Niagara.pdf.

www.SID.ir