



دانشگاه آزاد اسلامی واحد امیدیه

گروه مهندسی نفت

پایان نامه جهت دریافت مدرک کارشناسی مهندسی نفت

گرایش: حفاری

عنوان پروژه:

محاسبه فشار ته چاهی برای حفاری‌های با فشار کنترل شده

(مقایسه محاسبه گرهای غیر خطی)

استاد راهنما:

علیرضا مؤذنی

مؤلف:

جلال آل علی

شماره دانشجویی:

۸۸۰۲۴۰۸۷۶

۱۳۹۳/۰۵/۲۰



از تمامی کسانی که بنده را در این راه همیاری کردند، علی الخصوص پدر و مادرم،
کمال تشکر و قدردانی را دارم.

چکیده

برای اجتناب از مشکلات پایداری چاه در یک محیط حفّاری با تنش فزاینده، نیاز به یک کنترل دقیق پروفایل فشار در حین عملیات حفّاری پیدا می‌شود. به دلیل این که ابزار دقیق استاندارد دکل های حفّاری اندازه‌گیریِ ضعیفی از فشارِ ته چاهی دارند، لذا نیازی به تخمین وجود دارد. به هر حال، تهیه یک مدل دقیق از فرآیند حفّاری کار سختی می‌باشد، لذا یک مشاهده‌گر مناسب با استفاده از یک مدل ساده‌تر و با درجه پایین‌تر باید رضایت بخش باشد.

در این پایان نامه کارشناسی تعدادی از روش‌های محاسبه به همراه یک اصلاح پیشنهادی برای مدل اصطکاک آنالوس مورد بررسی قرار خواهند گرفت. محاسبه‌گرهای آزموده شده عبارت‌اند از: یک، مشاهده‌گر افقی متحرک. دو، فیلتر بدونِ بوِ کالمن، که یک گزینه محاسباتی جدید است که به همراه منظم سازی به منظور جبران کندی به روز رسانی و تأخیر در دسترسی به اندازه‌های فشارِ ته چاهی معرفی گردیده است. و در آخر، ترکیبات مختلفِ دو مشاهده‌گر آمده است.

تمامی مشاهده‌گرها در شبیه سازی‌ها آزموده می‌شوند و کارآیی مناسب برای MHE و UKF به دست می‌آید. تطبیق پارامتر برای هر دو مشاهده‌گر مؤثر خواهد بود، اما UKF با تعداد اندکی از موضوعات مشاهده‌ای، در هنگامی که به خوبی عمل نمی‌کند روبرو می‌شود. ترکیبات مختلف دو مشاهده‌گر پیچیدگی محاسباتی را افزایش می‌دهد، و متأسفانه بدون حاصل شدن دقت بهتری در محاسبات همراه است. محاسبات در هنگامی که مدل اصطکاک متناوب آزمایش گردید و سپس با تلاش‌های شکست خورده در جهت اصلاح مدل Kaasa درجه سوم ساده مواجه گردید، رو به وخامت گذاشت.

کلماتِ کلیدی

فشارِ ته چاهی	BHP
انجمن جهانی پیمان کارانِ حفّاری	IADC
حفّاری تحتِ فشارِ کنترل شده	MPD
فیلترِ بدون بو کالمن	UKF
آزمایشگاه ماتریس	MATLAB
محاسبه گرِ حالت افقیِ منظم شده	RNMHE

فهرست مطالب

فصل ۱	۱
پس زمینه	۱
انگیزه و مقدمه ای بر حقّاری	۲
اندازه‌گیری فشارِ چاه	۴
دامنه و تأکید	۶
کارهای قبلی در واگذاریِ پروژه	۶
گزارشِ رئوسِ مطالب	۷
فصل ۲	۸
مدل سازی	۸
۲,۱ خلاصهٔ مدل	۹
۲,۱,۱ مدل Choke	۱۱
۲,۱,۲ پمپِ فشارِ برگشتی	۱۱
۲,۱,۳ هجومِ سیّالِ مخزن و نفوذِ سیّال به درونِ مخزن	۱۲
۲,۱,۴ شیر اطمینان (Chek Valve) متّنهٔ حقّاری	۱۲
۲,۱,۵ مدل اصطکاک	۱۲
فصل ۳	۱۵
تنویریِ مشاهدهگر	۱۵
۳,۱ مشاهدهگرِ متحرکِ افقیِ غیرخطّی (NMHE)	۱۶
۳,۲ فیلترِ بدونِ بویِ کالمن (UKF)	۱۸
۳,۲,۱ UKF با اندازه‌گیریهای از دست رفته	۲۱
۳,۳ ترکیباتِ مشاهدهگر	۲۷
۳,۳,۱ پیش فیلتر کردن MHE توسط UKF	۲۷
۳,۳,۲ استفاده از اطلاعاتِ کوواریانس	۲۸
۳,۳,۳ فیلترِ بدونِ بویِ کالمن (UKF) در MHE	۲۸
۳,۳,۴ استفاده از فیلترِ بدونِ بویِ کالمن برای بدست آوردن \hat{x}_t از $x_{t-n,t}^0$	۳۰

۳,۴	انطباق پارامتر	۳۰
۳,۱	جدول ۳,۱: پارامترهای محاسبه شده	۳۰
۳,۴,۱	ثابت جریان مدل جریانی Choke (K_c)	۳۱
۳,۴,۲	دانسیته سیال حفاری در آنالوس (ρ_a)	۳۱
۳,۴,۳	پارامتر تغییرات آهسته اصطکاک (θ_1)	۳۱
۳,۵	اجرا	۳۱
۳,۵,۱	بازگو کردن مدل	۳۲
۳,۵,۲	عادی سازی	۳۴
۳,۵,۳	حل کننده برای معیار حدّ اقلِ مربّعات در MHE	۳۴
۳,۵,۴	تغییرات اجرایی الحاقی UKF	۳۵
۴	فصل ۴	۳۶
	شبیه سازی و نتایج	۳۶
۴,۱	اطلاعات Grane	۳۷
۴,۱	جدول ۴,۱: مقادیر منتخب و تنظیم شده پارامترها، که با استفاده از اطلاعاتی از Statoil's Grane Field محاسبه گردیده‌اند	۳۸
۴,۱,۱	به روز رسانی مقادیر	۳۸
۴,۱,۱,۱	مشاهدهگر افقی متحرک	۳۹
۴,۲	محاسبه و ثبات پارامتر	۴۰
۴,۴	مشاهدهگر افقی متحرک غیر خطی (NMHE)	۴۰
۴,۳,۱	بدون تطبیق	۴۱
۴,۳,۲	تطبیق بهره وری جریان (K_c)	۴۳
۴,۳,۳	انطباق بهره وری (راندمان) جریان (K_c)، دانسیته سیال در آنالوس (ρ_a) و ضریب اصطکاک آنالوس (θ_1)	۴۶
۴,۴	مدل سازی اصطکاک آنالوس	۴۹
۴,۵	فیلتر بدون بو کالمن (UKF)	۵۱
۴,۵,۱	چشم پوشی کردن از آخرین اندازه‌های در دسترس	۵۲
۴,۵,۲	استفاده از آخرین مقادیر در دسترس	۶۰
۴,۶	ترکیب مشاهده گرها	۶۶
۴,۶,۱	پیش فیلتر با UKF در MHE	۶۶

۶۹	..... استفاده از اطلاعات کوواریانس
۷۰	..... MHE در UKF ۴,۶,۳
۷۳	..... استفاده از UKF برای بدست آوردن \hat{x}_t از $x_{t-N,t}^0$
۷۵	..... سنجش پیچیدگی زمان
۷۶	..... جدول ۴,۲: پیچیدگی زمان برای هر طرح محاسباتی، همگی به همراه یکپارچه سازی گام زمانی $\Delta t=0.2$
۷۷	..... فصل ۵
۷۷	..... نتیجه و کار آینده
۷۸	..... مقدمه
۸۰	..... مرجعها و مأخذها
۲	..... Abstract

فهرست جدول‌ها

- جدول ۳,۱: پارامترهای محاسبه شده ۳۰
- جدول ۴,۱: مقادیر منتخب و تنظیم شده پارامترها، که با استفاده از اطلاعاتی از Statoil's Grane Field محاسبه گردیده اند. ۳۸
- جدول ۴,۲: پیچیدگی زمان برای هر طرح محاسباتی، همگی به همراه یکپارچه سازی گام زمانی $\Delta t=0.2$ ۷۶

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱،۱: مصرف جهانی نفت. مناطق خاص برای فهم آسان تر میزان توسعه مصرف به صورت جداگانه از یکدیگر ترسیم شده اند. ۲.....
- شکل ۱،۲: نمونه‌ای از یک سیستم حقاری ۴.....
- شکل ۲،۱: سیستم مدل سازی شده ۱۰.....
- شکل ۳،۱: حالت هایی از نوسان ساز "Van Der Pool" که در آن مشاهده گر در تمام زمان ها از آخرین مقادیر بدست آمده استفاده می کند. ۲۳.....
- شکل ۳،۲: خطای محاسبه اضافی برای نوسان ساز "Van Der Pool"، بدون منظم سازی ۲۴.....
- شکل ۳،۳: وضعیت های نوسان ساز "Van Der Pool" همراه با منظم ساز UKF. **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۳،۴: دقت روش اویلر (خط ممند آبی) و روش نقطه میانی (خط چین مشکی) برای $\dot{X} = X$ ۳۳.....
- شکل ۴،۱: باز شدن نرمال شیر اطمینان (۰: بسته، ۱: کاملاً باز) ۳۷.....
- شکل ۴،۲: MHE بدون تطبیق: حالت های اندازه گیری شده و فشار ته چاهی (خط ممند، آبی)، محاسبات (خط تیره، قرمز)، مقادیر نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی) ۴۲.....
- شکل ۴،۳: MHE بدون تطبیق: حجم جریان در پمپ (خط ممند، آبی)، و حجم جریان در Choke (خط ممند، سبز) ۴۳.....
- شکل ۴،۴: MHE با انطباق بهره وری جریان (K_c): حالت ها و فشار ته چاهی اندازه گیری شده (خط ممند، آبی)، محاسبات (خط ممند، قرمز)، مقادیر نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی) ۴۴.....
- شکل ۴،۵: MHE با انطباق بهره وری جریان (K_c): حجم جریان در پمپ (خط ممند، آبی)، و حجم جریان در Choke (خط ممند، سبز) ۴۵.....
- شکل ۴،۶: MHE با انطباق بهره وری جریان (K_c): K_c انطباقی (خط ممند، قرمز) و K_c تنظیم شده به صورت Offline (خط ممند، آبی) ۴۵.....
- شکل ۴،۷: MHE با انطباق K_c ، ρ_a و θ_1 : حالات و فشار ته چاهی اندازه گیری شده (خط ممند، آبی)، تخمین ها (خط تیره، قرمز) و مقادیر نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی) ۴۷.....
- شکل ۴،۸: MHE با انطباق K_c ، ρ_a و θ_1 : پارامتر تخمین زده شده (خط تیره، قرمز)، مقداری که در زمانی که پارامتر تخمین زده نشده است مورد استفاده قرار گرفته (خط ممند، آبی) ۴۸.....
- شکل ۴،۹: MHE با انطباق K_c ، ρ_a و θ_1 : حجم جریان در پمپ (خط ممند، آبی)، حجم جریان در Choke (خط ممند، سبز) ۴۹.....

- شکل ۴،۱۰: MHE با انطباق مدل اصطکاک و بهره وری جریان: (K_c) حالت ها و فشار ته چاهی اندازه گیری شده (خط مممتد، آبی)، تخمین ها (خط تیره، قرمز)، مقدار نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی) ۵۰
- شکل ۴،۱۱: MHE با انطباق مدل اصطکاک و بهره وری جریان: (K_c) حجم جریان در پمپ (خط مممتد، آبی) و حجم جریان در Choke (خط مممتد، سبز) ۵۱
- شکل ۴،۱۲: UKF بدون انطباق: حالات و فشار ته چاهی اندازه گیری شده (خط مممتد، آبی)، تخمین ها (خط تیره، قرمز) و مقدار نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی) ۵۳
- شکل ۴،۱۳: UKF بدون انطباق: حجم جریان در پمپ (خط مممتد، آبی) و حجم جریان در Choke (خط مممتد، سبز) ۵۴
- شکل ۴،۱۴: UKF با انطباق K_c : حالات و فشار ته چاهی محاسبه شده (خط مممتد، آبی)، محاسبات (خط تیره، قرمز) و مقادیر نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی) ۵۵
- شکل ۴،۱۵: UKF با انطباق K_c : حجم جریان در پمپ (خط مممتد، آبی) و حجم جریان در Choke (خط مممتد، سبز) ۵۶
- شکل ۴،۱۶: UKF با انطباق K_c : K_c انطباقی (خط تیره، قرمز) و K_c تنظیم شده به صورت Offline (خط مممتد، آبی) ۵۶
- شکل ۴،۱۷: UKF با انطباق شاخص بهره وری جریان K_c , ρ_a , θ_1 : حالات اندازه گیری شده و فشار ته چاهی (خط مممتد، آبی)، محاسبات (خط تیره، قرمز)، مقادیر نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی) ۵۸
- شکل ۴،۱۸: UKF با انطباق شاخص بهره وری جریان K_c , ρ_a , θ_1 : پارامترهای محاسبه شده (خط مممتد، آبی)، حجم جریان در Choke (خط مممتد، سبز) ۵۹
- شکل ۴،۱۹: UKF با انطباق شاخص بهره وری جریان K_c , ρ_a , θ_1 : حجم جریان در پمپ (خط مممتد، آبی)، حجم جریان در Choke (خط مممتد، سبز) ۶۰
- شکل ۴،۲۰: UKF بدون انطباق و با استفاده از آخرین مقادیر: حالات اندازه گیری شده و فشار ته چاهی (خط مممتد، آبی)، محاسبات (خط تیره، قرمز)، مقادیر نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی) ۶۲
- شکل ۴،۲۱: UKF بدون انطباق و با استفاده از آخرین مقادیر: حالات اندازه گیری شده و فشار ته چاهی (خط مممتد، آبی)، محاسبات (خط تیره، قرمز) ۶۳
- شکل ۴،۲۲: UKF بدون انطباق و با استفاده از آخرین مقادیر: حجم جریان در پمپ (خط مممتد، آبی)، حجم جریان در Choke (خط مممتد، سبز) ۶۴
- شکل ۴،۲۳: UKF بدون انطباق و با استفاده از آخرین مقادیر: حالات اندازه گیری شده و فشار ته چاهی (خط مممتد، آبی)، محاسبات (خط تیره، قرمز)، مقادیر نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی) ۶۵
- شکل ۴،۲۴: MHE با پیش فیلتر کردن و تطبیق شاخص بهره وری جریان (K_c): حالات اندازه گیری شده و فشار ته چاهی (خط مممتد، آبی)، محاسبات (خط تیره، قرمز) و مقادیر نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی) ۶۷

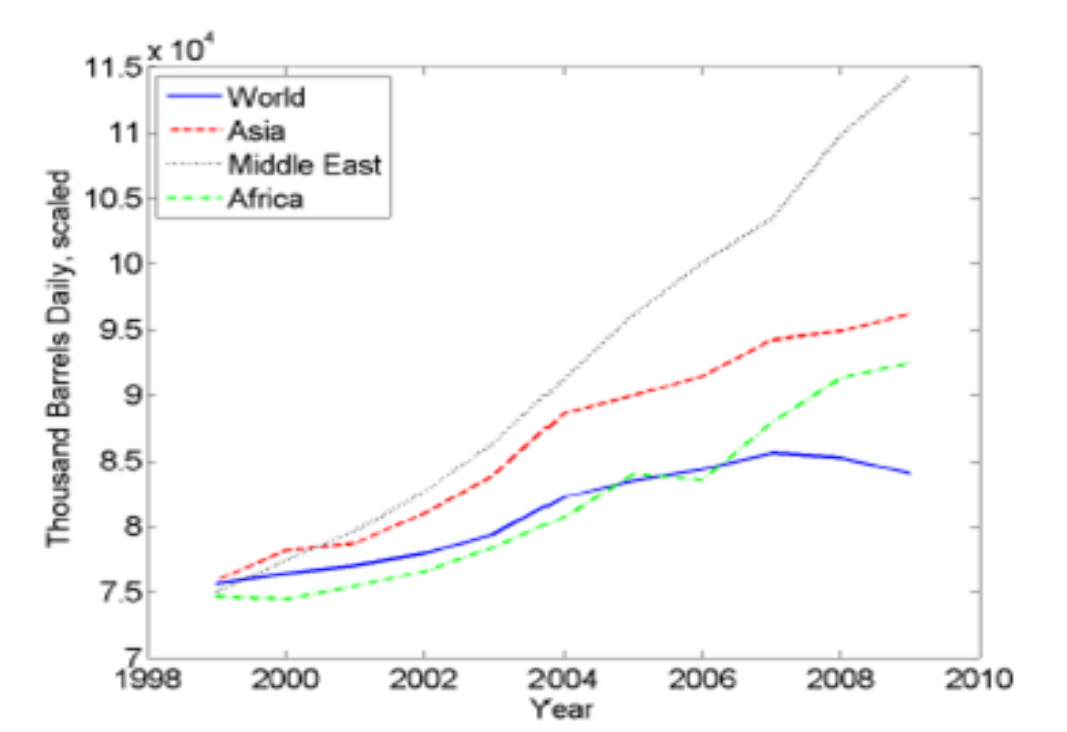
- شکل ۴,۲۵: MHE با پیش فیلتر کردن و تطبیق شاخص بهره وری جریان (K_c) : K_c تطبیق داده شده (خط تیره، قرمز) و K_c تنظیم شده به صورت Offline (خط ممّتد، آبی) ۶۸
- شکل ۴,۲۶: MHE با پیش فیلتر کردن و تطبیق شاخص بهره وری جریان (K_c) : فشار ته چاهی محاسبه شده (خط ممّتد، آبی)، محاسبه با استفاده از پیش فیلتر کردن (\bar{X}_{t-N}) خط تیره، قرمز)، محاسبه با استفاده از انتشار شبیه سازی شده (خط چین، مشکی) ۶۸
- شکل ۴,۲۷: MHE با پیش فیلتر کردن و وزن دادن کوواریانس و به همراه تطبیق شاخص بهره وری جریان K_c : حالات اندازه گیری شده و فشار ته چاهی (خط ممّتد، آبی)، محاسبات (خط تیره، قرمز)، مقادیر نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی) ۶۹
- شکل ۴,۲۸: MHE با پیش فیلتر کردن و وزن دادن کوواریانس و به همراه تطبیق شاخص بهره وری جریان K_c : تطبیق داده شده (خط تیره، قرمز) و K_c تنظیم شده به صورت Offline (خط ممّتد، آبی) ۷۰
- شکل ۴,۲۹: MHE ترکیب شده با UKF، همراه با تطبیق شاخص بهره وری جریان (K_c) : حالات اندازه گیری شده و فشار ته چاهی (خط ممّتد، آبی)، محاسبات (خط تیره، قرمز) و مقادیر نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی) ۷۱
- شکل ۴,۳۰: MHE ترکیب شده با UKF، همراه با تطبیق شاخص بهره وری جریان (K_c) : تطبیق داده شده (خط تیره، قرمز) و K_c تنظیم شده به صورت Offline (خط ممّتد، آبی) ۷۲
- شکل ۴,۳۱: MHE ترکیب شده با UKF، همراه با تطبیق شاخص بهره وری جریان (K_c) : حجم جریان در پمپ (خط ممّتد، آبی) و حجم جریان در Choke (خط ممّتد، سبز) ۷۲
- شکل ۴,۳۲: استفاده از UKF برای بهینه سازی \hat{X}_t از $X_{t-N,t}^0$ به همراه انطباق شاخص بهره وری جریان K_c : حالات اندازه گیری شده و فشار ته چاهی (خط ممّتد، آبی)، محاسبات (خط تیره، قرمز)، مقادیر نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی) ۷۳
- شکل ۴,۳۳: استفاده از UKF برای بهینه سازی \hat{X}_t از $X_{t-N,t}^0$ به همراه انطباق شاخص بهره وری جریان K_c : تطبیق داده شده (خط تیره، قرمز)، K_c تنظیم شده به صورت Offline (خط ممّتد، آبی) ۷۴
- شکل ۴,۳۴: استفاده از UKF برای بهینه سازی \hat{X}_t از $X_{t-N,t}^0$ به همراه انطباق شاخص بهره وری جریان K_c : حجم جریان در پمپ (خط ممّتد، آبی)، حجم جریان در Choke (خط ممّتد، سبز) ۷۵

پس زمینه

انگیزه و مقدمه‌ای بر حفّاری

اگر چه در دو سالِ اخیر یک کاهش جزئی جهانی در مصرفِ نفت وجود داشته است، اما افزایشِ آن در آسیا، آفریقا و خاورمیانه ادامه دارد. و به ویژه در سال‌های آتی اجتناب ناپذیر است. تلاش برای یک زندگی استاندارد بهتر، تقاضای انرژی را بالا می‌برد. انرژی‌های تجدید پذیر تبدیل به کانون اصلی توجه شده‌اند، اما هیدروکربن‌ها هنوز به عنوان تأمین کننده بخش عمده انرژی اولیه به حساب می‌آیند.

امروزه، مخازن قدیمی که از آنها تولید صورت گرفته است، هنوز مقادیر زیادی نفت خام و گاز در خود دارند که به طور بالقوه قابل استخراج است، و مخازن جدید با سازند های پیچیده هنوز در حال کشف شدن هستند. بنابراین، اهمیت بهره‌برداری درصد بیشتری از این مخازن پیچیده و دشوار ضروری است و روش‌های حفّاری دقیق و پیشرفته در پیشرفت این امر ضروری است.

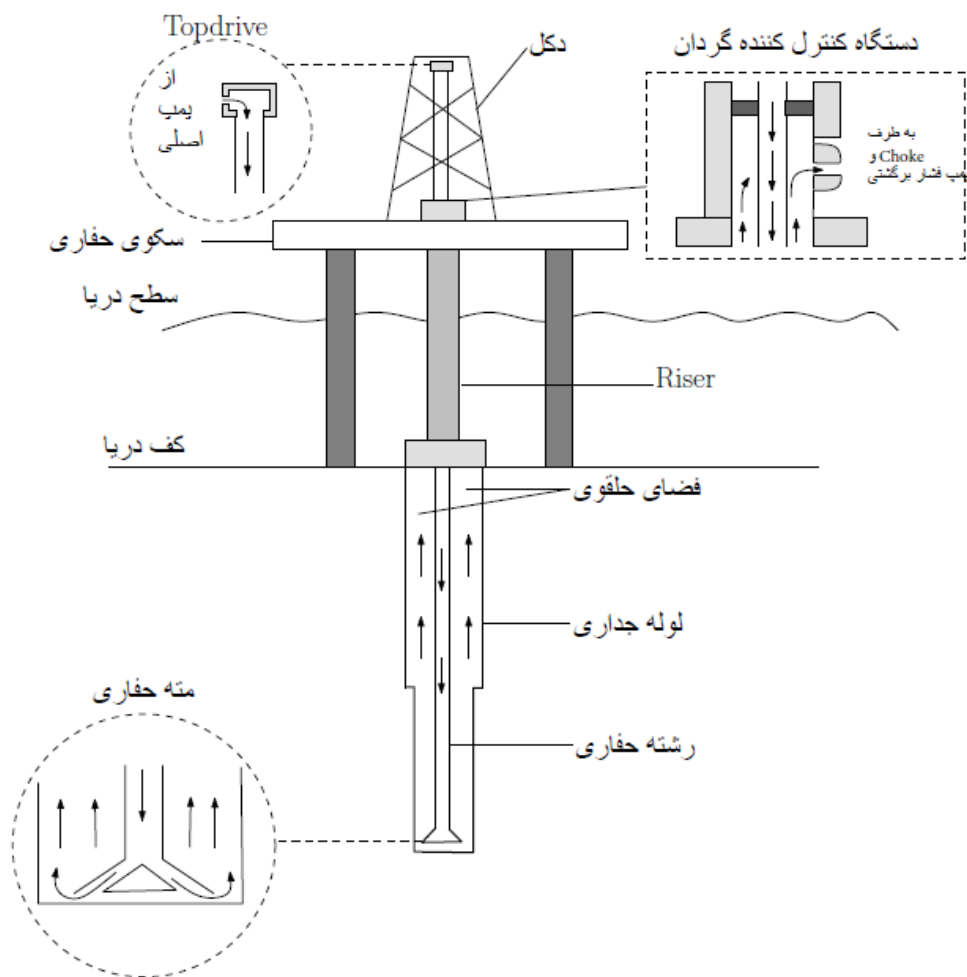


شکل ۱،۱: مصرف جهانی نفت. مناطق خاص برای فهم آسان تر میزان توسعه مصرف به صورت جداگانه از یکدیگر ترسیم شده‌اند.

برای درک بهتر این کار، یک سکوی حفّاری مصور ساده شده را در شکل ۱،۲ در نظر گرفته‌ایم. متّهِ حفّاری سنگ‌ها را با استفاده از شکستِ سنگ تحت فشار وزن رشته حفّاری و یا برش، قطعات سنگ را در

هنگامی که لوله های وزنه وزن کافی را برای سهولت کار تأمین می کنند، می کاود. وزنه ها بخشی از همه رشته حفاری هستند که به یک موتور که متعلق به سیستم Top Drive دکل می باشند وصل شده اند که موجب چرخش متّه در ته چاه می شوند. در حین حفاری، طول رشته حفاری رفته رفته با افزایش تعداد Stand Pipe ها افزایش می یابد (طول هر Stand Pipe تقریباً ۲۷ متر می باشد که برای اتصال لوله ها مورد استفاده قرار می گیرند). بخشی از لوله فولادی (لوله جداری) درون چاه جایگذاری می شوند و اغلب فضای خالی میان قطر خارجی لوله جداری و سازند، به منظور حفظ استحکام دیواره چاه، توسط سیمان پر می شود. با اضافه کردن مجموعه ابزارهای کوچک تر و ایجاد چاه های کوچک تر که درون یکدیگر حفاری می شوند، یک متّه کوچک تر بیشتر می تواند در چاه مورد استفاده قرار گیرد، جایی که به طور بالقوه، سازندهای نامعلوم و ناپایدار بیشتری را می توان یافت. یک نیاز دائم برای حذف کنده های ایجاد شده و حفظ کردن فشار ته چاهی وجود دارد. سیال حفاری که به عنوان «گل» شناخته می شود، از درون متّه حفاری جریان پیدا می کند و کنده های حفاری را از درون آنالوس (فضای حلقوی) به سطح زمین حمل می کند و از طریق Choke از چاه خارج می کند. پس از خروج، سیال حفاری به درون Mud Tank (مخزن گل) باز می گردد، جایی که چرخه از آن جا شروع می شود. "Rotating Control Device" (دستگاه کنترل کننده گردان) در شکل ۱،۲، آنالوس را هنگامی که نشسته سیال به بیرون از فضای حلقوی توسط Choke کنترل می شود، از فضای بیرون جدا کرده و آن را نشسته بندی می کند. این دستگاه به ما اجازه می دهد که کنترل بهتری بر روی فشار داشته باشیم، اما این امر در روش های حفاری معمولی استاندارد نیست و وجود ندارد.

کنترل فشار از جهت جلوگیری کردن از تهاجم های خارج از کنترل مخزن و همچنین مسائل مهم دیگر است. امتناع از مچاله شدن چاه، به حداقل رساندن هرزروی گل در هنگام حفاری در مناطق تهی مخزن، کاهش خطر در هنگام حفاری در مناطق پرفشار و پیشگیری کردن از ایجاد اثر پوسته در مخزن (Skin) که بعدها می تواند منجر به کاهش تولید از مخزن شود. فوران چاه (Kick) (نفت، گاز طبیعی و/یا آب که وارد فضای حلقوی شده و بالا می آید) ممکن است رخ دهد و سپس تبدیل به فوران (انفجار) شود (آزاد شدن خارج از کنترل نفت خام / گاز طبیعی از یک چاه نفتی / گازی)، که منجر به خسارتهای بزرگ مالی، حوادث ویران کننده زیست محیطی شده و حتی ممکن است به از بین رفتن انسان ها و یا حیوانات شود.



شکل ۱،۲: نمونه‌ای از یک سیستم حفاری

اندازه‌گیری فشار چاه

همان‌طور که در بخش ۱،۱ توضیح داده شد، کنترل دقیق فشار آنالوس در هنگام حفاری از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. MPD (حفاری با استفاده از فشار کنترل شده) به عنوان نتیجه حاصل از این تقاضا ظهور پیدا کرده است و کمیته عملیات حفاری تحت فشار (UBD) متناسب به IADC و کمیته حفاری تحت فشار کنترل شده، "MPD" را به صورت زیر تعریف کرده‌اند:

یک عملیات حفاری انطباقی که جهت کنترل دقیق‌تر بر پروفایل فشار آنالوس، از درون و بیرون چاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ادامه، آن‌ها این اهداف را به صورت زیر تعریف کردند:

"برای محقق کردنِ حدودِ محیطیِ فشارِ ته چاهی و در نتیجه برای مدیریتِ پروفایلِ فشارِ هیدرولیکی آنالوس."

بهینه سازیِ پروفایلِ فشارِ آنالوس دشوار است و از این رو فشارِ ته چاهی از جهتِ کنترلِ آن اغلب به صورتِ متغیر انتخاب می‌شود. از آن جایی که این اندازه‌گیری‌ها به صورتِ معمولی و با استفاده از مسافتِ سنجی با استفاده از روشِ Mud-Pulse (پالس‌ها یا ضربان‌های ایجاد شده در سیالِ حفّاری) جمع‌آوری شده‌اند، آن‌ها به تنهایی توسط اندازه‌گیریِ آهسته مشخص نمی‌شوند، بلکه همچنین به وسیلهٔ غیابِ آن‌ها در نقاطِ ضروری در روندِ حفّاری مشخص می‌شوند، به طور مثال در حینِ اتصالِ لوله‌ها. افتِ فشارِ ناشی از اصطکاک و همچنین چرخش و حرکتِ رشتهٔ حفّاری و هجومِ سیالِ مخزنِ عواملی هستند که بر روی میزانِ فشارِ ته چاهی تأثیر گذارند، بنابراین فشار باید محاسبه گردد.

OLGA یک شبیه سازِ چند فازِ قدرتمند و پیشرو در بازار برای مهندسیِ جریانِ نفت، گاز و آب، در چاه‌ها، خطوطِ لوله و امکاناتِ دریافتی است. به هر حال، شبیه سازیِ ها اغلب باید با تنظیمِ پارامترهایِ ضروری ترکیب شوند، که این عمل می‌تواند به وسیلهٔ روش‌های اتوماتیک (خود به خودی) مانند محاسبهٔ پارامترها و یا به وسیلهٔ آموزشِ دیدگان در چاه‌ها و یا آپراتورهایِ مجرب انجام شود. روشِ گفته شده مطلوب است، به طوری که در بلند مدت منجر به کاهش هزینه‌ها در مقایسه با روش‌های دیگر می‌شود. بنابراین، برخی از تلاش‌ها برای محاسبه و کنترلِ BHP (فشارِ ته چاهی) اغلب با استفاده از مدل‌های درجه پایین (توان پایین) استخراج گردیده است. از یک فیلترِ بدونِ بوِ کالمن (UKF) برای محاسبه پارامترهایِ اصطکاک و خواصّ Choke برای استفاده در یک MPD، استفاده می‌گردد. پیش‌بینی‌هایِ فشارِ ته چاهی به طور منصفانه مقادیرِ دقیقی را نشان می‌دهند، علیرقمِ اینکه محاسباتِ مقادیرِ ناخواسته‌ای را نمایش می‌دهند. از فیلترِ بدونِ بوِ کالمن (UKF) به همراهِ مدلِ غیر خطیِ پیش‌بینی کننده (NMPC) برای نگه داشتنِ فشار در محدوده فشاریِ مخزنِ مورد استفاده قرار می‌گیرد. کنترلِ موفقِ فشارِ ته چاهی انجام شده است، اما مجدداً عواملِ ناخواسته‌ای مانند نوسانات، در محاسباتِ پارامترها و در این محدوده مشاهده می‌شود. [20]، [24] و [25] از مشاهده‌گرِ افقیِ متحرک، یک مشاهده‌گرِ انطباقی و فیلترِ کالمنِ تعمیم داده شده به ترتیب به منظورِ محاسبهٔ فشارِ ته چاهی در حینِ حفّاری استفاده می‌کنند. [17] ثابت می‌کند که کنترلِ اتوماتیکِ هماهنگِ دبی‌هایِ پمپ و شیرِ Choke در حینِ عملیاتِ Surge And Swab (عملیاتِ بالا و پایین راندنِ رشتهٔ حفّاری، در حالی که اطرافِ آن را سیالِ حفّاری در بر گرفته است و به ترتیب منجر به افزایش و کاهشِ

فشارِ درونِ چاه می‌گردد) و نتایجِ حاصله در مقایسه با هر دو روشِ کنترلِ دستی و حالتی که فقط کنترلِ Choke Line به صورت اتوماتیک به وسیلهٔ پمپ انجام می‌گردد بسیار امیدوار کننده است.

فناوریِ لولهٔ حفاری سیم‌کشی شده بیشترین استفاده را در ترکیبِ با “MPD” دارد و از سیم‌های الکتریکی در تمام اجزاءِ رشتهٔ حفاری استفاده می‌کند، به طوری که سیگنال‌های الکتریکی می‌توانند از / یا به سطح منتقل شوند. میزان انتقالِ اطلاعات در این روش بسیار بیشتر از روش‌هایی همچون مسافت سنجی Mud-Pulse است. National Oilwell Varco (شرکت ملی چاه‌های نفتی Varco) محصولِ “Intelliserv” را که تنها سیستمِ پر سرعت، حجم بالا، کیفیت بالا و دارای سیستمِ انتقالِ اطلاعاتِ پهن باندِ دو طرفه می‌باشد، که امکان اندازه‌گیری، بررسی، مشاهده و فعال شدنِ شرایطِ ته چاهی را در زمانِ واقعی دارد، ارائه کرده است. فناوریِ شبیه به لولهٔ سیم‌کشی شده می‌تواند در روشِ “MPD” مهم باشد. به هر حال، شرایطِ حفاریِ سخت، توسعهٔ بیشترِ روش‌های اندازه‌گیریِ دقیق را که در به حداقل رساندنِ هزینه‌ها کمک می‌کند را می‌طلبد.

دامنه و تأکید

این پایان نامه گسترشِ روش‌های خوبِ محاسبه را برای یک طرحِ استاندارد حفاری شبیه سازی کرده و ادامه می‌دهد. فیلترِ بدونِ بوِ کالمن (UKF) به عنوان یک چاره برای مشاهده‌گرِ افقیِ متحرک مطرح شده است که قبلاً در واگذاریِ پروژه به نویسنده معرفی شده است. اهداف اصلی عبارت‌اند از:

۱. آزمودنِ کاراییِ فیلترِ بدونِ بوِ کالمن (UKF) بر روی یک طرحِ حفاریِ استاندارد.
۲. مقایسهٔ کاراییِ فیلترِ بدونِ بوِ کالمن (UKF) با مشاهده‌گرِ افقیِ متحرک
۳. مدلسازیِ اصطکاکِ آنالوس با استفاده از توابعِ پایه اصلی
۴. استفاده از اطلاعاتِ فیلترِ بدونِ بوِ کالمن (UKF) جهتِ انجامِ اصلاحاتِ بیشتر بر روی کاراییِ مشاهده‌گرِ افقیِ متحرک

کارهای قبلی در واگذاریِ پروژه

مقدم بر این پایان نامه، نویسنده یک Proposal بر روی مشاهده‌گرِ افقیِ متحرک نوشته است. مأموریت، تمرکز بر مشاهده‌گرِ افقیِ متحرک غیرِ خطیِ منظم شده می‌باشد که در [2] معرفی گردیده و توسط Marcel Paashe تکمیل گردیده است. به علاوه، مفاهیم فرآیند مدلسازیِ نویزها مورد بحث و بررسی قرار

می‌گیرد، به عنوان مثال اعتراف به وجود خطا در مدلسازی. تئوری مشاهده‌گر در مورد مشاهده‌گر افقی متحرک که در اهداف پروژه آمده است، به طور مجدد در این پایان نامه مورد استفاده قرار گرفته است و نتایج بدست آمده به منظور مقایسه با کارآیی فیلتر بدون بو کالمن ارائه شده‌اند.

گزارش رئوس مطالب

این پروژه به چهار بخش کلی تقسیم می‌گردد:

- (۱) در بخش ۲، چاهی به نام “Kaasa Model” معرفی گردیده و توصیف می‌شود. همچنین، تغییرات جزئی‌ای که بر روی این پایان نامه تأثیر گذارند، اعمال شده‌اند، که شامل مدل به روز رسانی شده اصطکاک آنالوس می‌باشد.
- (۲) در بخش ۳، مشاهده‌گر افقی متحرک غیر خطی منظم شده و فیلتر بدون بو کالمن همراه با تغییراتی که می‌توانند تأثیرات مثبتی بر روی دقت محاسبات داشته باشند معرفی گردیده‌اند. همچنین برخی از افکار حول جنبه‌های مختلف اجرا آورده شده است.
- (۳) در بخش ۴، شبیه سازی‌ها و نتایج جهت نشان دادن کارآیی برآوردگرها آورده شده‌اند.
- (۴) در بخش ۵، نتیجه‌گیری‌ها ترسیم شده و توصیه‌هایی در مورد کارهای آینده داده شده است.

مدل سازی

۲,۱ خلاصه مدل

مدل استاندارد شده در این پروژه بر مبنای مدل “Kaasa” می باشد، که در [23] معرفی گردیده، در اصل در [11] با تغییرات جزئی تعمیم داده شد. این مدل یک مدل درجه ۳ ساده منصفانه است که هر دو مبحث فشار و دینامیک جریان سیستم را در شکل ۲,۱ نشان می دهد.

مدل “Kaasa” سیستم را به وسیله سه معادله دیفرانسیل درجه ۱ زیر و خروجی آنها تعریف می کند:

$$\dot{p}_c = \frac{\beta_a}{V_a} (q_{bit} - q_{choke} + q_{back} + q_{res} - \dot{V}_a) \quad (2-1)$$

$$\dot{p}_p = \frac{\beta_d}{V_d} (q_p - q_{bit}) \quad (2-2)$$

$$\dot{q}_{bit} = \frac{1}{M} (p_p - p_c - \theta_1 q_{bit} - \theta_2 |q_{bit} - q_{res}| (q_{bit} + q_{res}) + (\rho_d - \rho_a) g h_{bit}) \quad (2-3)$$

$$y_1 = p_c \quad (2-4)$$

$$y_2 = p_p \quad (2-5)$$

$$y_3 = p_c + \theta_1 q_{bit} + \rho_a g h_{bit} \quad (2-6)$$

به طوری که p_c فشار Choke، p_p فشار پمپ، q_{bit} دبی خروجی از متّه حفّاری، q_{choke} و q_p به ترتیب دبی Choke و دبی پمپ می باشند (بخش ۲,۱,۱) و q_{back} دبی پمپ پشتیبان و q_{res} هجوم و یا نفوذ به مخزن می باشد (Skin و یا Kick)، h_{bit} عمق متّه و g شتاب جاذبه می باشد. و β_d و β_a و V_d و V_a و ρ_d و ρ_a مدول های حجمی (توده ای) می باشند که به ترتیب، حجم ها و دانسیته های متوسط آنالوس و رشته حفّاری می باشند و تغییرات حجمی آنالوس می باشد. تحولی که منجر به ایجاد شدن اختلاف دیفرانسیلی در q_{bit} از اختلاف فشار خالص می گردد، توسط $M = M_a + M_d$ انجام می گیرد، در جایی که $M_i = \bar{\rho}_i \int_0^{l_i} \frac{1}{A_i(x)} dx$ ، انتگرال معکوس سطح بر روی طول کلّی آنالوس / یا رشته حفّاری می باشد. در آخر، θ_1 و θ_2 به ترتیب پارامترهای اصطکاک مربوط به آنالوس و رشته حفّاری می باشند. قابل ذکر است که جریان در آنالوس و رشته حفّاری که در اصل قبلاً به صورت آشفته مدلسازی شده اند، در حالی که بعداً، جریان آنالوس به طور مثال در این پروژه، به صورت آرام مدلسازی شده اند. این امر در بخش ۲,۳ مشاهده می شود، در جایی که θ_1 در $(q_{bit} - q_{res})$ (جریان آرام Laminar) ضرب می شود، در حالی که θ_2 در $|q_{bit} - q_{res}| (q_{bit} - q_{res})$ (جریان آشفته Turbulent) ضرب می گردد. Imsland [7] نتیجه

گیری می‌کند که یک مدل درجه دوم برای آنالوس بهینه نیست و اطلاعات بدست آمده از آزمایش‌های مختلف در نقاط مختلفی از دریای شمال در جهت جریان آرام (Laminar) می‌باشد. سومین خروجی یک اندازه‌گیری از p_{bit} می‌باشد، به طور مثال:

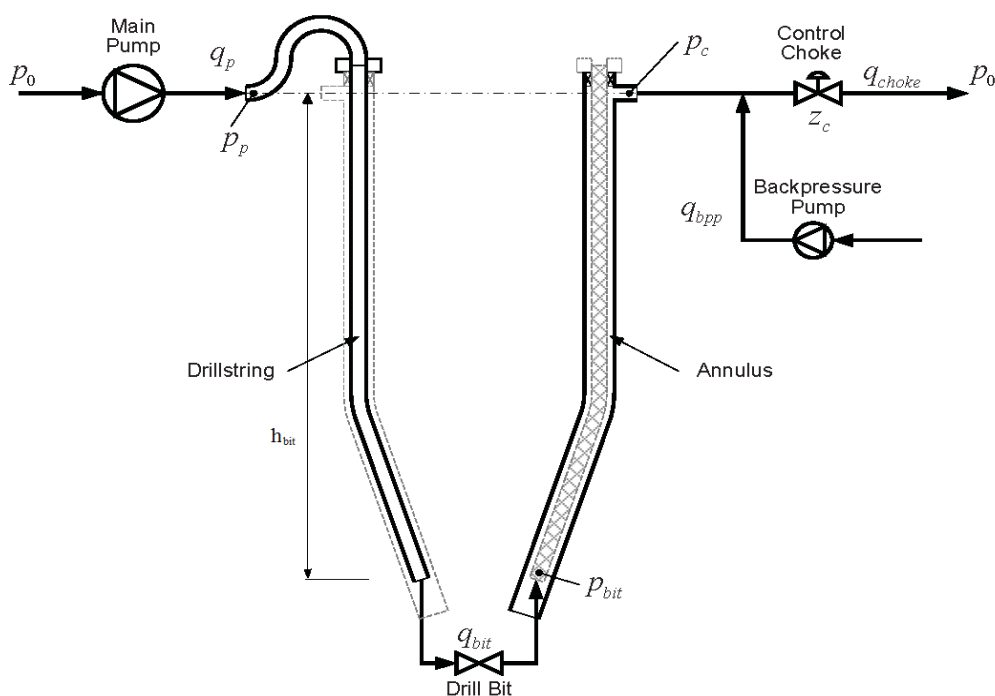
$$p_{bit} = p_c + \theta_1 q_{bit} + \rho_a g h_{bit} \quad (2-7)$$

مدل بالا به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$x_{t+1} = f(x_t, u_t) \quad (2-8)$$

$$y_t = h(x_t, u_t) \quad (2-9)$$

با بردار حالت $x_t \in \mathbb{R}_x^n$ و بردار ورودی $u_t \in \mathbb{R}_{ux}^n$ و بردار خروجی $y_t \in \mathbb{R}_y^n$ در زمان گسسته t . $f(x_t, u_t)$ نشان می‌دهد که چگونه بردار حالت از x_t به x_{t+1} در مدت زمان Δt انتشار می‌یابد و $h(x_t)$ بردار حالت مربوط به خروجی آن را ترسیم می‌کند. برای محاسبه پارامتر، بردار حالت به وسیله n_p با پارامترهای $p_t = p_{t+1}$ تکمیل می‌شود. بنابراین، بعد بردار حالت $n_x + n_p$ است. جهت ساده کردن، n_x تعداد حالت‌ها و پارامترهای تکمیلی تابع آن را در نظر نمی‌گیرد.



شکل ۲،۱: سیستم مدل سازی شده

۲،۱،۱ مدل Choke

جریان درون Choke یکی از بخش‌های مهم مدل است، و عدم تطابق مدل گیاهی به میزان زیادی به این بخش بستگی دارد. در این پروژه، همان‌طور که در [23] آمده، معادله عمومی اُریفیس (Orifice) به صورت زیر است:

$$q_{choke} = K_c z_z \sqrt{\frac{2}{\rho_a} (p_c - p_0)} \quad (2-10)$$

به طوری که $K_c = A_c C_d$ می‌باشد، و A_c باز شدن یک شیر کاملاً باز می‌باشد و C_d راندمان تخلیه شیر Choke می‌باشد که مورد استفاده قرار می‌گیرند. z_z باز کردن معمولی شیر Choke می‌باشد که مقادیری مابین ۰ و ۱ دارد، و p_0 مقدار فشار در Vena Contrata می‌باشد (موقعیت نزدیک‌ترین حداقل اختلاف (Minimum Cross) نسبت به اُریفیس در جریان سیال می‌باشد). یک زوج از فرضیات ایجاد گردیده است. اولی، p_0 با فشار پایین دستی (کمتر) محاسبه می‌گردد. دومی، معادله اُریفیس بر پایه فرضیاتی همچون سیال تراکم ناپذیر و جریان پایدار بنا شده است که برای سیستم ما دست یافتنی نیست. بنابراین، از این فرضیات صرف نظر شده است. برای اجرا شدن و حاصل شدن اهداف، رابطه (۲-۱۰) به صورت زیر اصلاح شده است:

$$q_{choke} = K_c g_z(z_z) \sqrt{(p_c - p_0)} \quad (2-11)$$

جایی که $K_c = A_c C_d \sqrt{\frac{2}{\rho_a}}$ و $g_z(z_z)$ در اطلاعات آزمایشی گنجانده شده‌اند. یادآور می‌شوم که ρ_a در اینجا به K_c تبدیل شده است.

۲،۱،۲ پمپ فشار برگشتی

پمپ فشار پشتیبان برای کنترل فشار Choke (p_c)، هنگامی که لازم باشد بعد از اینکه به طور کلی خاموش شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طور مثال زمانی که $q_p = 0$ باشد، سپس زمان به طور مستقیم وارد معادله (۲-۱) می‌گردد. پمپ فشار پشتیبان طرحی است که در این کار برای شبیه سازی به کار می‌رود.

۲,۱,۳ هجوم سیال مخزن و نفوذ سیال به درون مخزن

هجوم سیال مخزن ($q_{res} > 0$) و نفوذ سیال به درون مخزن ($q_{res} < 0$) امکان نشت گازها و سیالات به درون چاه، و هرزروی گل به درون سازند، به دلیل وجود حفره ها و ناحیه کم فشار در سازند مخزن را نشان می دهد. هجوم و یا برون رفت سیال از یک مخزن که وارد مته حفاری شده و سپس به عبارت اصطکاک آنالوس افزوده می شود، به دلیل اینکه از درون آنالوس وارد Choke می شود. این عبارت همچنین به طور مستقیم وارد معادله می شود. تحت شرایط عادی می توان از q_{res} صرف نظر کرد، لذا در این عمل برای ساده سازی آن را برابر صفر (۰) در نظر می گیریم.

۲,۱,۴ شیر اطمینان (Chek Valve) مته حفاری

شیرهای اطمینان مته حفاری به منظور جلوگیری از برگشت سیالات حفاری به سطح، به رشته حفاری افزوده می شوند، به عبارت دیگر برای اینکه دبی خروجی از مته را مثبت نگه دارند ($q_{bit} > 0$) مورد استفاده قرار می گیرند. لذا، معادله (۲,۳) باید به شکل زیر اصلاح گردد:

$$\dot{q}_{bit} = \begin{cases} \frac{1}{M} (p_p - p_c - \theta_1 q_{bit} - \theta_2 |q_{bit} - q_{res}| (q_{bit} + q_{res}) + (\rho_d - \rho_a) g h_{bit}), & q_{bit} > 0 \\ \max(\frac{1}{M} (p_p - p_c + (\rho_d - \rho_a) g h_{bit}), 0), & q_{bit} \leq 0 \end{cases} \quad (2-12)$$

که از کاهش مقدار q_{bit} به زیر صفر جلوگیری می کند.

۲,۱,۵ مدل اصطکاک

اصطکاک تنها عامل با بیشترین پیچیدگی و عدم قطعیت برای مدل سازی است و یک طیف وسیعی از روش ها و تکنیک ها می تواند مورد استفاده قرار گیرد. پیش از این، این پایان نامه مدل جریان آرام و متلاطم برای اصطکاک آنالوس و رشته حفاری را به همان ترتیبی که در مدل "Kaasa" به نظر می رسد توضیح داده است. این بخش در مورد روش دیگر مدل سازی که از تخمین به واسطه تابع سود می برد، بحث می کند.

۲,۱,۵,۱ توابع محاسبه‌ای

یک تابع نامعلوم $h(x)$ که نشان می‌دهد که اصطکاک توسط یک میانگین وزنی نرمال شده از محاسبه‌گر موضعی N محاسبه گردیده است، که آن:

$$\hat{h}(x) = \sum_{k=1}^N \phi_k(x) \hat{h}_k(x) = \phi(x) \quad (۲-۱۳)$$

می‌باشد، در جایی که:

$$\phi_i(x) = \frac{\omega_i(x)}{\sum_{k=1}^N \omega_k(x)} \quad (۲-۱۴)$$

یک تابع مبنا می‌باشد که برای هر شکل از x ، به صورت جزئی از کل است، به طور مثال، مجموع تابع به ازای تمامی مقادیر در x برابر ۱ است و یک همسایگی از x برای همه مقادیر موجود است، اما یک رقم محدود از توابع صفر می‌باشد. $\omega_i(x)$ تابع وزنی محلی می‌باشد که در این پایان نامه به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$\omega_i(x) = \begin{cases} (1 - \frac{|x-c_i|}{\mu_i}), & \text{if } |x - c_i| < \mu_i \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۲-۱۵)$$

که یک فرم هرمی برای هر $\omega_i(x)$ به دست می‌دهد. c_i بلندای هرم (ارتفاع هرم) و μ_i عرض هرم را در محل قاعده هرم نشان می‌دهد.

۲,۱,۵,۲ محاسبه اصطکاک

"اصطکاک واقعی" به عنوان تابع جریان در مته فرض گردیده است (و به کندی تغییر می‌کند، اما این تغییر، برای سادگی در محاسبات بعدی حذف گردیده است) و همانند $\mathcal{F}(q_{bit})$ نادیده گرفته می‌شود. از آن جایی که مدل اصطکاک -همان $-F(q_{bit})$ دقیق نیست $F(q_{bit}) \neq \mathcal{F}(q_{bit})$ ، خطای مدل به وسیله یک بردار $\theta \in \mathbb{R}^{n_\theta}$ و همراهی توابع اساسی $\Phi(q_{bit}) = (\phi_1(q_{bit}), \dots, \phi_{n_\theta}(q_{bit}))^T$ پارامتر گذاری شده است. محاسبه گر محلی معرفی شده در بخش قبلی به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\hat{h}_k(q_{bit}) = F(q_{bit})^T \theta_k \quad (۲-۱۶)$$

سپس، یک محاسبه گر $\hat{\theta}^T \Phi(q_{bit}) F(q_{bit})$ ساخته گردید، در جایی که θ به صورت زیر وجود دارد:

$$F(q_{\text{bit}})\Phi(q_{\text{bit}})^T\theta = F(q_{\text{bit}}) \quad (2-17)$$

در آخر، اصطکاکِ آنالوس و رشتهٔ حقّاری به ترتیب به صورت $f_d(q_{\text{bit}})^T\theta_d$ و $f_a(q_{\text{bit}})^T\theta_a$ تعریف گردیده است، به طوری که $f(q_{\text{bit}}) = \Phi(q_{\text{bit}})F(q_{\text{bit}})^T$ می‌باشد. معادلهٔ حالت برای q_{bit} و معادلهٔ محاسباتی برای p_{bit} بر طبق رابطهٔ زیر اصلاح گردیده‌اند:

$$\dot{q}_{\text{bit}} = \frac{1}{M} (p_p - p_c - f_a(q_{\text{bit}})^T\theta_a - f_d(q_{\text{bit}})^T\theta_d + (\rho_d - \rho_a)gh_{\text{bit}}) \quad (2-18)$$

$$y_3 = p_c + f_a(q_{\text{bit}})^T\theta_a + \rho_a gh_{\text{bit}} \quad (2-19)$$

تئوریِ مشاهده‌گر

۳.۱ مشاهده گر متحرک افقی غیرخطی (NMHE)

این بخش در مورد "مشاهده گر متحرک افقی غیرخطی منظم (RNMHE)" بحث می کند، که در بخش ۲ تشریح گردید، بر اساس مبانی حرکت افقی پایه گذاری شده است. هدف، به کار گرفتن تئوری بر روی مدل مورد بحث در بخش ۲، همانند آنچه در [20] انجام گرفت می باشد. اساس یک حرکت افقی از نظر تئوری محاسبه و کنترل به طور گسترده فهمیده شده است. در مدل کنترل پیش گویناه، MPC، یک مزیت، یک تابع هزینه به وسیله یک افق رو به جلو پیشگو برای به دست آوردن یک ورودی بهینه به واسطه یک کنترل کننده افقی است. به هر حال، در یک محاسبه گر حرکت افقی، افق با زمان به عقب باز می گردد. هدف، بهینه سازی یک مسیر حالت است که اطلاعات اندازه گیری را به خوبی جایگذاری کرده و شامل یک مدل فرض می شود. متأسفانه، اطلاعات ممکن است تمامی خروجی ها برای هر نقطه در زمان را به ما ندهد، که این مسئله می تواند مشکل ساز باشد. به ویژه برای حالت ترکیب شده و محاسبه پارامتر به وسیله بردار حالت تکمیل شده، که در این پروژه مرکزی می باشد.

یک محاسبه گر همگرا پیش از این به دنبال به حداقل رساندن حداقل معیارهای مجذور وزنی و منظم، ساماندهی شد.

$$J(\hat{x}_{t-N,t}, \bar{x}_{t-N}, I_t) = \left\| W_t \left(Y_t - H_t(\hat{x}_{t-N,t}, U_t) \right) \right\|^2 + \left\| M_t(\hat{x}_{t-N,t} - \bar{x}_{t-N}) \right\|^2 \quad (3-1)$$

$$Y_t = \begin{bmatrix} y_{t-N} \\ y_{t-N+1} \\ \vdots \\ y_t \end{bmatrix} \quad (3-2)$$

$$\bar{x}_{t-N} = f(\hat{x}_{t-N-1}^0, u_{t-N-1}) \quad (3-3)$$

$$H_t(\hat{x}_{t-N,t}, U_t) = \begin{bmatrix} h(\hat{x}_{t-N,t}) \\ h \circ f^{u_{t-N}}(\hat{x}_{t-N,t}) \\ \vdots \\ h \circ f^{u_{t-1}} \circ \dots \circ f^{u_{t-N}}(\hat{x}_{t-N,t}) \end{bmatrix} \quad (3-4)$$

$$f^{u_t} = f(x_t, u_t) \quad (3-5)$$

$$h^{u_t} = h(x_t, u_t) \quad (3-6)$$

$\hat{x}_{t-N,t}^0$ بهینه ترین حالت محاسبه می‌باشد، $I_t = \text{col}(y_{t-N}, \dots, y_t, u_{t-N}, \dots, u_t)$ تمامی خروجی‌ها و ورودی‌های قبلی، برای افقی N ، دارد و M_t و W_t ماتریس‌های وزنی هستند که با زمان تغییر می‌کنند. به طور خلاصه، M_t اظهارهای جریمه در هر حالتی که به صورت $\Lambda \cdot I_{nx}$ اجرا شده باشد، می‌باشد. به طوری که Λ یک افزایش قابل تنظیم است. برای اینکه مشاهده‌گر را مجبور کنیم که اظهار را در حالت جزئی و یا پارامترهای جزئی، بیشتر و یا کمتر نشان دهد، می‌توانیم میزان مربوط به M_t مورب را افزایش و یا کاهش دهیم، که $\Lambda = [\omega_0 \dots \omega_{nx}]^T$ ، W_t ، که خطای وزنی محاسبات می‌باشد به همین سادگی نیست. Sui Dan که در [2] به آن اشاره شد توضیح می‌دهد که چگونه W_t باید برای سیستم‌هایی که در حالت عادی پایدار نیستند و خطاهایی در مدلسازی دارند، که اغلب مواردی با حالت‌های مختلط و محاسبه پارامتر می‌باشند، محاسبه گردد.

به طور خلاصه، آن حدس مقدار صفر \cdot را برای اجزائی که قبلاً غیرقابل مشاهده بوده و یا قابل صرف نظر کردن بوده‌اند، قرار می‌دهد. قانون منطبق بر W_t به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\left\| W_t \frac{\partial H}{\partial x} (\hat{x}_{t-N,t}^0, U_t)^+ \right\| = \alpha \quad (3-7)$$

به طوری که:

$$U_t = \begin{bmatrix} u_{t-N} \\ u_{t-N+1} \\ \vdots \\ u_t \end{bmatrix} \quad (3-8)$$

عبارت $\frac{\partial H}{\partial x} (\hat{x}_{t-N,t}^0, U_t)$ میزان حساسیت تغییرات خروجی به واسطه تغییرات حالت‌های مختلف را تشریح می‌کند، و α از نظر عددی به میزان کافی کوچک می‌باشد. اجزاء $(\sigma'_{i,t} s, i = 1, \dots, n_x)$ مربوط به ماتریس مورب S_t در مقدار مفرد تجزیه عبارت فوق می‌شود:

$$\frac{\partial H}{\partial x} (\hat{x}_{t-N,t}^0, U_t) = U_{SVD,t} S_t V_{SVD,t}^T \quad (3-9)$$

که نقطه صفر و یا نزدیک به صفر خارج از حالت می‌باشد، زیرا نه قابل مشاهده است و نه در ورودی وارد می‌شود. وزن وارده بر این حالت‌ها به طرز مؤثری به سمت صفر کاهش می‌یابد، با قرار دادن:

$$\frac{1}{\sigma_{\delta,i,t}} = \begin{cases} \frac{1}{\sigma_{i,t}}, & \text{if } \sigma_{i,t} \geq \delta > 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3-10)$$

که در آن δ پارامتر تنظیم کننده می باشد و عبارتِ پایین را انتخاب می نماید:

$$W_t = \frac{1}{\alpha} V_{SVD,t} S_{\delta,t}^+ U_{SVD,t}^T \quad (3-11)$$

که $S_{\delta,t}^+ = \text{diag}(\frac{1}{\sigma_{\delta,1,t}}, \dots, \frac{1}{\sigma_{\delta,n_x,t}})$ می باشد. توضیح عمقی تر این مسأله توسطِ "Sui Dan" در [2] آمده است.

۳.۲ فیلتر بدونِ بُوِ کالمن (UKF)

فیلتر کالمنِ تعمیم شده (EKF)، بیشترین راه های معمول برای سازگاری با سیستم های محاسباتی غیر خطی را دارا می باشد. (EKF) تابع دانسیته قدرت (PDF) را به وسیله خطی سازی در اطرافِ سیستم غیر خطی متعادل، گسترش می دهد. این بدین معنی است که یک عامل می بایست سیستم را در هر مرحله زمانی، خطی سازی کنند. "Julier" همان طور که در [9] آورده، در مورد محدودیت های (EKF) بحث کرده که در زیر به صورت خلاصه آمده است:

- محاسبه خطی سازی ها می تواند مشکل باشد، مستعد اشتباه هستند و زمان بر نیز می باشند. همین طور عبارت های (Jacobian های) سیستم های با توان بالا، بدست آوردنِ آنها مشکل است و یا اصلا وجود ندارند.
- یک محاسبه خطی برای انتشار خطاها، نسبت به آن چه اغلب اوقات برای انتقال خطی قابل دستیابی است، دقیق تر و قابل اطمینان تر است.

این بخش، روش دیگری برای محاسباتِ حالت را که به عنوانِ "فیلتر بدونِ بُوِ کالمن (UKF)" یا فیلتر کالمن شناخته می شود را مورد بحث و بررسی قرار می دهد.

الگوریتم استفاده شده در UKF، در بخش ۱۲ همین پایان نامه آمده است، که در اصل توسطِ "Julier" توسعه داده شده و در اینجا تکرار می گردد.

بردار حالت تکمیل شده به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$x_k^a = \begin{bmatrix} x_k \\ x_v \\ x_m \end{bmatrix} \quad (3-12)$$

که x_k, x_v, x_m به ترتیب حالت‌های فرآیند، نویزهای فرآیند و نویزهای اندازه‌گیری را نشان می‌دهند. مکمل ضروری نیست اما سبب می‌شود که محاسبات بیشتر رو به جلو باشند، به طور مثال نقاط Σ برای کوواریانس نویز فرآیند و نویز اندازه‌گیری، قبلاً انجام گرفته، سپس با مورد بررسی قرار گرفتن در معادلات (3-28) و (3-14) شفاف‌تر می‌گردند.

بعد حالت تکمیل شده، به ترتیب توسط ابعاد کل فرآیند، نویز فرآیند و نویز اندازه‌گیری حاصل می‌شود:

$$N = n_x + n_v + n_m \quad (3-13)$$

و ماتریس کوواریانس تکمیل شده، یک ماتریس قطری می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$P^1 = \begin{bmatrix} P_x & 0 & 0 \\ 0 & P_v & 0 \\ 0 & 0 & P_m \end{bmatrix} \quad (3-14)$$

که P_x, P_v, P_m به ترتیب کوواریانس فرآیند، نویز فرآیند و نویز اندازه‌گیری می‌باشند.

سپس، نقاط سیگمای $2N+1$ بر اساس کوواریانس حالت حاضر محاسبه می‌گردند:

$$x_{i,k-1}^a \begin{cases} = \hat{x}_{k-1}^a, i = 0 \\ = \hat{x}_{k-1}^a + \gamma S_i, i = 1, \dots, N \\ = \hat{x}_{k-1}^a - \gamma S_i, i = N+1, \dots, 2N \end{cases} \quad (3-15)$$

که S_i ستون i ام، ریشه دوم ماتریس کوواریانس می‌باشد.

$$S = \sqrt{P_{k-1}^a} \quad (3-16)$$

و

$$\lambda = \alpha^2(N + \kappa) - N \text{ و } \gamma = \sqrt{N + \lambda} \quad (3-17)$$

که α و κ پارامترهای تنظیم کننده می‌باشند. برای ایجاد معرفه نیمه مثبت ماتریس کوواریانس (ماتریس مشخصه) به صورت $0 \leq \alpha \leq 1$ و انتخاب شد و توزیع نقاط Σ را کنترل می‌کند. "Van Der Merwe" [26]، نتیجه گرفت که مقدرا ایده‌آل α یک مقدار کوچک است، برای اینکه توزیع نقاط Σ باید متراکم باشد. نقطه Σ i ام، همان ستون i ام ماتریس نقاط Σ می‌باشد:

$$x_{i,k-1}^a = \begin{bmatrix} x_{i,k-1}^x \\ x_{i,k-1}^v \\ x_{i,k-1}^m \end{bmatrix} \quad (3-18)$$

که علامت x ، v و m با توجه به حالت‌ها، به ترتیب به نویز فرآیند و نویز اندازه‌گیری بستگی دارد.

نقاط Σ در درون تابع به روز رسانی حالت جایگذاری می‌شوند:

$$X_{i,k/k-1}^x = f(X_{i,k-1}^x, X_{i,k-1}^v, u_{k-1}), \quad i = 1, 2, \dots, 2N \quad (3-19)$$

محاسبه حالت قبلی و کوواریانس قبلی به واسطه مجموع وزنی نقاط Σ محاسبه گردیده است.

$$\hat{x}_k^- = \sum_{i=0}^{2N} (\omega_{i,m} X_{i,k/k-1}^x) \quad (3-20)$$

$$P_{x_k}^- = \sum_{i=0}^{2N} (\omega_{i,c} X_{i,k/k-1}^x - \hat{x}_k^-)(\omega_{i,c} X_{i,k/k-1}^x - \hat{x}_k^-)^T \quad (3-21)$$

که وزن‌های $\omega_{i,m}$ و $\omega_{i,c}$ به صورت زیر تعریف می‌گردند:

$$\omega_{0,m} = \frac{\lambda}{N+\lambda}, \quad i = 0 \quad (3-22)$$

$$\omega_{0,c} = \frac{\lambda}{N+\lambda} + (1 - \alpha^2 + \beta), \quad i = 0 \quad (3-23)$$

$$\omega_{i,m} = \omega_{i,c} = \frac{1}{2(N+\lambda)}, \quad i = 1, \dots, 2N \quad (3-24)$$

که β یک پارامتر وزنی غیر منفی است که برای ترکیب کردن نقاط سیگمای صفر برای محاسبه کوواریانس مورد استفاده قرار گرفته است. [26] "Van Der Merwe" حالت گذاری کرده است که مقدار بهینه برای

گاوس‌های پیشینی $\beta = 2$ می‌باشد.

مقدار اصلی و کوواریانس قطری اندازه‌گیری بردار به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\hat{y}_k^- = \sum_{i=0}^{2N} (\omega_{i,m} Y_{i,k/k-1}) \quad (3-25)$$

$$P_{y_k}^- = \sum_{i=0}^{2N} (\omega_{i,c} Y_{i,k/k-1} - \hat{y}_k^-)(\omega_{i,c} Y_{i,k/k-1} - \hat{y}_k^-)^T \quad (3-26)$$

که

$$Y_{i,k/k-1} = h(X_{i,k/k-1}^x, X_{i,k-1}^m, u_k), \quad i = 1, 2, \dots, 2N \quad (3-27)$$

نهایتاً، واریانس متقابل و افزایش کالمن بر طبق (3-28) و (3-29) محاسبه می‌گردند.

$$P_{x_k y_k} = \sum_{i=0}^{2N} (\omega_{i,c} X_{i,k/k-1}^x - \hat{x}_k^-)(\omega_{i,c} Y_{i,k/k-1} - \hat{y}_k^-)^T \quad (3-28)$$

$$K_k = P_{x_k y_k} P_{y_k}^{-1} \quad (3-29)$$

و محاسبه فیلتر بدون بو کالمن و کوواریانس آن با استفاده از معادلات به روز رسانی استاندارد کالمن محاسبه می‌گردند:

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (y_k - \hat{y}_k^-) \quad (3-30)$$

$$P_{x_k} = P_{x_k}^- - K_k P_{y_k} K_k^T \quad (3-31)$$

۳,۲,۱ UKF با اندازه‌گیری‌های از دست رفته

فیلتر بدونِ بوی کالمن همانطور که در بخش‌های قبلی معرفی گردید، نیازمند این است که مقادیر برای همه زمان‌ها موجود باشند، اگر یک مقدار و یا بیشتر وجود نداشته باشد، محاسبات، محاسبه حالت در (۳۰-۳) به دلیل اینکه مقادیر بردار Y_k بدون مقادیر اجزاء ادامه خواهد یافت، دچار مشکلاتی خواهد شد. یک حل معمول این است که تعداد ستون‌های ماتریس افزایشی کالمن K_k را برابر صفر قرار دهیم تا اجزاء کوچک در سؤال تأثیری بر معادلات (۳۰-۳) و (۳۱-۳) نداشته باشند. به هر حال، این امر به دلیل اینکه پارامتر نیمه مثبت کوواریانس ماتریس دیگر قابل تضمین نیست و به طور بالقوه ارقام پیچیده‌ای را در معادله (۱۶-۳) تعریف می‌کند، تأثیر بسیار زیادی بر روی معادله (۳۱-۳) خواهد گذاشت. فقط استفاده از افزایشی کالمن با ستون صفر شده در معادله حالت به روز رسانی شده (۳۰-۳) می‌تواند یک گزینه باشد، اما نمی‌تواند مانند روابط واضح میان معادله (۳۰-۳) و معادله (۳۱-۳) به طور مطلوب گسترش یابد. حل‌های بهتری وجود دارند که بعدها بررسی خواهند شد.

۳,۲,۱,۱ استفاده از آخرین مقدار در دسترس

آسان‌ترین راه حل این است که استفاده از فیلتر را با آخرین اندازه‌گیری‌ها ادامه دهیم، که در برهه‌هایی که اندازه‌گیری‌های جدید به صورت متناوب وارد می‌شوند عملکرد رضایت بخشی را خواهد داشت. به هر حال، ممکن است زمان‌هایی باشد که هنگامی که اندازه‌گیری‌ها برای مدت زمان طولانی حضور ندارند و در نتیجه میزان زیادی از دینامیک‌ها می‌توانند در سطح گسترده‌ای مورد غفلت واقع شوند. اتصال لوله‌ها در حین حقاری یک مثال مشهود از این موقعیت ویژه می‌باشد. با غیاب فشار ته چاهی (BHP)، سپس نیاز به یک حل متفاوت و پیچیده‌تر می‌باشد. همچنین، اگر فرکانس به روز رسانی اندازه‌گیری برای یک سیستم مشخص پایین باشد، محاسباتی که در حد فاصل میان به روز رسانی‌ها می‌باشد می‌تواند از بخش بزرگی از دینامیک سیستم غافل گردد و آن را نشان ندهد و هنگامی که محاسبات در حال پیگیری کردن اندازه‌گیری‌ها می‌باشد، نیازی به دقت بیشتر مشاهده نمی‌شود.

۳,۲,۱,۲ UKF منظم شده

راه حل سوم استفاده از محاسبات قبلی انجام شده با معادله (۲۰-۳) و تخمین جایگذاری‌ها برای مقادیر از دست رفته می‌باشد. این روش می‌تواند به وسیله معادله زیر انجام گیرد:

$$\bar{y}_k = h(\bar{x}_k, m, u_k) \quad (3-32)$$

به طوری که m نویز اندازه‌گیری‌ها می‌باشد، u_k ورودی مربوطه و ... نیز اندازه‌گیری‌های حالت را با محاسبات قبلی همین حالت، در کنار یکدیگر قرار می‌دهد، تا بتوانیم آن‌ها را با یکدیگر مقایسه کنیم. برای دقت بیشتر:

$$\bar{x}_{i,k} = \begin{cases} y_{i,k}, & \text{if } y_{i,k} \in \mathbb{R} \text{ is a measurement of } x_{i,k} \\ \hat{x}_{i,k}^-, & \text{if the measurement of } x_{i,k} \text{ is unavailable} \end{cases} \quad i = 1, \dots, n_x. \quad (3-33)$$

سپس، بردار اندازه‌گیری شده بر مبنای معادله زیر به روز رسانی می‌شود:

$$y_{i,k} = \begin{cases} y_{i,k}, & \text{if } y_{i,k} \in \mathbb{R} \text{ exist} \\ \bar{y}_{i,k}, & \text{if } y_{i,k} \text{ is unavailable} \end{cases} \quad i = 1, \dots, n_y \quad (3-34)$$

این راه حل، هوشمندانه‌ترین راه حل موجود می‌باشد که سبب می‌شود از تمامی داده‌ها استفاده گردد و در آن، نیازی به تبدیل فیلترهای بیشتری وجود ندارد، که این امر سبب می‌شود که اجرای آن به راحتی صورت گیرد.

برای اثبات کارایی این راه حل از نوسان ساز "Van Der Pool" که شامل دو معادله درجه اول است، استفاده می‌کنیم:

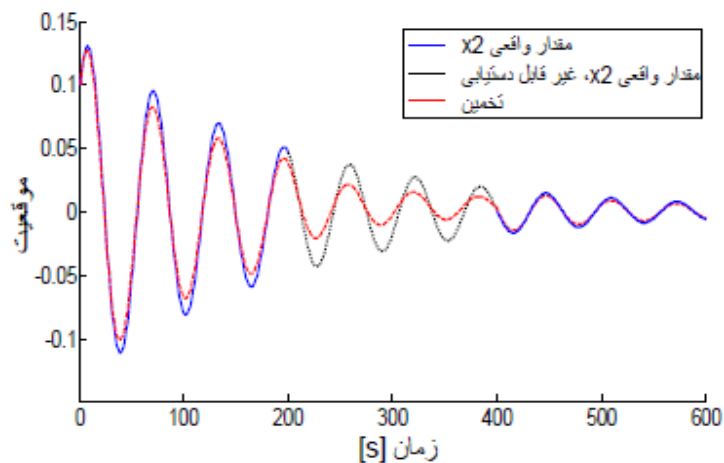
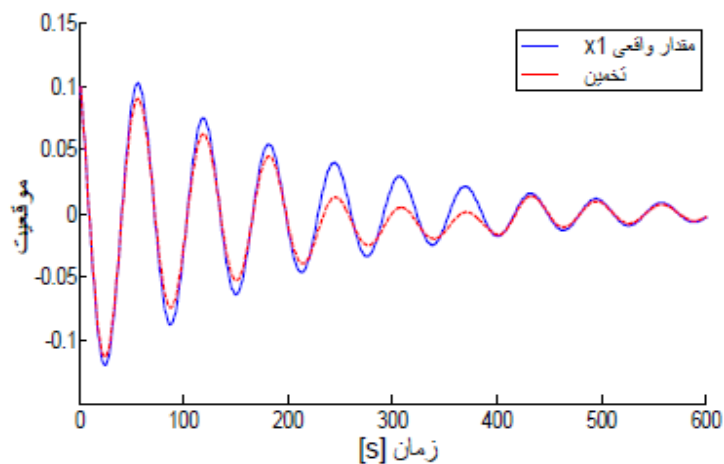
$$\dot{x}_1 = x_2 \quad (3-35)$$

$$\dot{x}_2 = \mu(1 - x_1^2)x_2 + x_1\mu = 0.2 \quad (3-36)$$

با بردار خروجی $y = [x_1 \ x_2]^T$. اگر جهت زمان را برعکس کنیم، هر دو معادله در (۱-) ضرب می‌گردند، این سیستم برای شرایط اولیه ضروری ناپایدار می‌باشد، به ویژه آن‌هایی که در خارج از یک چرخه محدود شروع می‌شوند. آن‌هایی که در داخل چرخه محدود شروع می‌شوند، سیستم به سوی همگرایی به تساوی $[0 \ 0]^T$ هدایت خواهد شد. این مثال بر روی نوسان ساز "Van Der Pool" با زمان معکوس تمرکز کرده، که تفاوت‌های بهتری را نشان می‌دهد.

نویزهای اندازه‌گیری و فرآیند به سیستم اضافه شده است، هر دو با کوواریانس $10^{-3}I_2$ از آن جایی که نشان دادن (به تصویر کشیدن) همگرایی از انحراف از شرایط اولیه از اهداف این مثال نیست، این نقاط به صورت مساوی با یکدیگر انتخاب گردیدند، $x_0 = \hat{x}_0 = [0.1 \ 0.1]^T$. همچنین، $P_{x_0} = I_2$ و α و β و K ، به ترتیب برابر ۱، ۲ و ۰ در نظر گرفته می‌شوند. μ در دستگاه ۰/۲ و در مدل ۰/۳ در نظر گرفته می‌شود، برای اینکه اختلاف کوچک باشد، اما هنوز عدم تطابق میان دستگاه و مدل مشاهده می‌شود.

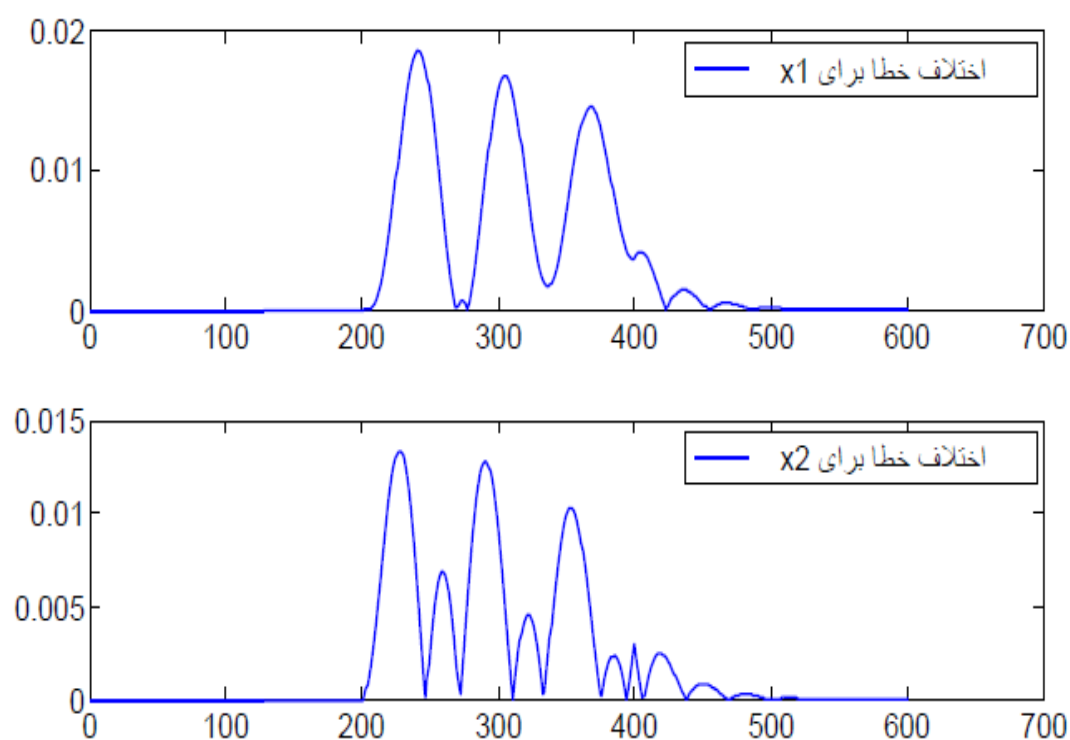
شکل ۳،۱ نشان می‌دهد که چگونه هنگامی که مقدار x_2 برای برهه زمانی (200-400 s) از دست می‌رود، مشاهده‌گر عملکرد ضعیفی را از خود نشان می‌دهد. در این برهه از شبیه سازی، محاسبات بر اساس آخرین مقادیری که در اختیار مشاهده‌گر قرار دارند انجام می‌شود.



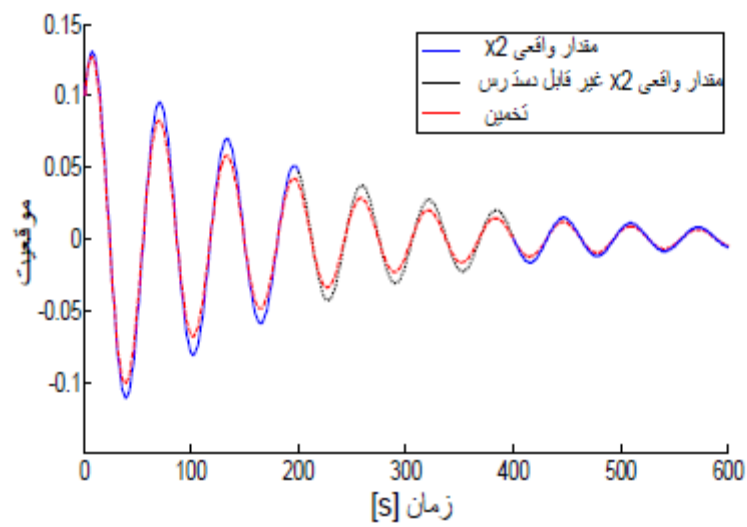
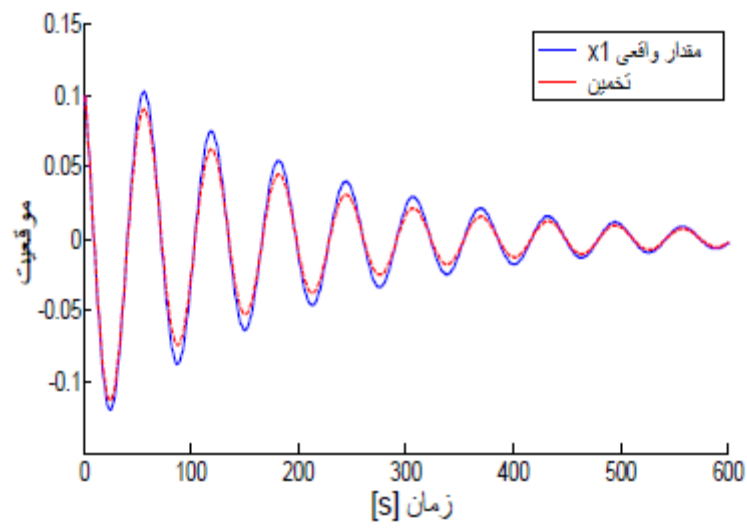
شکل ۳،۱: حالت‌هایی از نوسان ساز "Van Der Pool" که در آن مشاهده‌گر در تمام زمان‌ها از آخرین مقادیر بدست آمده استفاده می‌کند.

مقایسه آن نتایج با شکل (۳،۳)، که از منظم سازی معادلات (۳-۳۲)–(۳-۳۴) استفاده می‌کند، ممکن است که از اطلاعاتی که برای اندازه‌گیری x_1 بدست آمده استفاده کند و محاسبات را با UKF منظم خارج کند، به جای اینکه فقط از آخرین مقادیر در دسترس استفاده کند، راندمان را به میزان چشمگیری افزایش می‌دهد. با بررسی شکل (۳،۲)، که اختلاف مطلق میان خطای محاسبات را برای دو موردی که در بالا توضیح داده به تصویر کشیده است، واضح است که برای این طرح آزمایشی راندمان در واقع افزایش یافته است.

قله‌ها در شکل (۳,۲) نشان می‌دهند که خطای محاسبات زیاد است، به طور مثال در هر محل Maximum (حداکثر) در شکل (۳,۱) و (۳,۳) در طی دوره زمانی (200-600 s)، خطای محاسبات زیاد است. رفتار نوسانی در اختلاف خطاها به آسانی، با مشاهده این امر که دامنه محاسباتی برای دوره زمانی مذکور کمتر است، لذا مسیر عبوری آنها در بعضی از نقاط یکسان است و سبب می‌شود که اختلاف خطاها در نقطه تقاطع به صفر برسد، قابل تشریح است.



شکل ۳,۲: خطای محاسبه اضافی برای نوسان ساز "Van Der Pool"، بدون منظم سازی



شکل ۳,۳: وضعیت های نوسان ساز "Van Der Pool" همراه با منظم ساز UKF

۳,۲,۲ تنظیم کوواریانس

برای انجام محاسبات رضایت بخش با فیلتر کالمن، تنظیم ماتریس‌های کوواریانس بسیار سخت می‌باشد. برای فیلتر بدون بو کالمن که در بخش (۳,۲) توضیح داده شد، این ماتریس‌ها P_v و P_m را در نظر نمی‌گیرند، که همان طور که زیرنویس آن‌ها نشان می‌دهد، به ترتیب نویز فرآیند و نویز اندازه‌گیری می‌باشند. اولاً، نسبت میان P_v و P_m که برای راندمان خوب قطعی می‌باشد، اما همچنین مهم است که یک جایگذاری و یک رابطه متقابل میان اجزای ماتریس‌ها داشته باشیم. این امر معمولاً توسط روش معکوس درجه دوم "Bryson & Ho" [1] انجام می‌پذیرد. در اینجا، ماتریس‌ها بدین صورت تعریف می‌گردند:

$$P_{v,o} = \begin{bmatrix} P_1^v & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & P_n^v \end{bmatrix}$$

$$P_m = \begin{bmatrix} P_1^m & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & P_n^m \end{bmatrix}$$

به طوری که $P_{v,o}$ نسخه تعدیل نشده P_v می‌باشد. به طور مثال:

$$P_v = \zeta P_{v,o}$$

ζ برای این که بتوانیم نسبت میان P_v و P_m را همان طور که قبلاً در این بخش بحث شده تنظیم کنیم، معرفی می‌گردد.

اجزائی که روی قطر اصلی $P_{v,o}$ می‌باشند، به صورت زیر محاسبه می‌گردند:

$$\left\{ p_i^v = \frac{1}{(\delta x_i)^2} \right\}_{i=1}^n$$

که δx_i حداکثر خطای مجاز در این حالت می‌باشد، یعنی $\max |x_i - \hat{x}_i|$.

به طور مشابه، اجزاء روی قطر اصلی P_m نیز به صورت زیر محاسبه می‌گردند:

$$\left\{ p_i^m = \frac{1}{(\delta y_j)^2} \right\}_{j=1}^n$$

که $\delta_{y_j} = \max|y_j - \bar{y}_j|$ می‌باشد. \bar{y}_j مقدار اصلی اندازه‌گیری Static (ایستا) می‌باشد و y_j بیشترین انحراف مشاهده شده از این مقدار می‌باشد. همچنین مهم است که تأکید کنیم که این مقادیر محاسبه شده فقط به عنوان حدس‌های اولیه برای ماتریس‌های کوواریانس و تنظیم اضافی اجزاء قطر اصلی به کار می‌آیند، و کاملاً ضروری است. این مورد نیز توسط "Bryson & Ho" تأکید شده است.

۳,۳ ترکیبات مشاهده‌گر

دو ناظر جداگانه در این پایان نامه مورد بررسی قرار گرفته‌اند، اما همچنین جالب است که به ترکیبات ممکن این دو نگاهی بیندازیم. این بخش چهار روش مختلف برای به کار گیری فیلتر بدون بو کالمن در ناظر افقی متحرک را معرفی می‌کند.

۳,۳,۱ پیش فیلتر کردن MHE توسط UKF

دو بخش در معیار حداقل مربعات (۳-۱) برای ناظر افقی متحرک که در بخش (۳,۱) معرفی گردید، وجود دارد. بخش اول خطاهای مدل را برای یک بهینه سازی افقی کلی (فراگیر) در احساس جریمه می‌کند، که در آن اندازه‌گیری‌های واقعی با محاسباتی که مدل برای یک حالت اولیه ویژه در شروع افق در اختیار ما می‌گذارد مقایسه می‌کند. بخش دوم، اختلاف میان محاسبات حالت $\hat{X}_{t-N,t}$ و \bar{X}_{t-N} که در ابتدا محاسبه گردیده است را به حداقل می‌رساند (۳). این امر حل کننده را مجبور می‌کند که یک حل نزدیک به محاسبات \bar{X}_{t-N} مبتنی بر مدل که ممکن است برای همه بهینه نباشد، بیابد. بنابراین، حل \bar{X}_{t-N} با استفاده از فیلتر بدون بو کالمن یک مرحله‌ای می‌تواند راندمان را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش دهد و محاسبات به طور بالقوه بسیار سریعتر به حالت محاسبه بهینه $\hat{X}_{t-N,t}^0$ گرایش پیدا خواهد کرد. اشتباه بودن مورد آخر را به راحتی می‌توان اثبات کرد، به این دلیل که خود شبیه سازی UKF می‌تواند پیچیدگی محاسبات را بیش از آن چه MHE آن را کاهش می‌دهد، افزایش دهد و این امر هنگامی که نتایج در اختیار قرار بگیرند به طور کامل بررسی می‌گردد.

۳,۳,۲ استفاده از اطلاعات کوواریانس

فیلتر بدون بو کالمن به قدرت بالای کامپیوتر نیاز نخواهد داشت و می‌تواند به موازاتِ ناظر افقی متحرک مورد استفاده قرار گیرد. Rao و همکارانش در [21] نشان می‌دهد که از اطلاعات کوواریانس حاصل از فیلتر بدون بو کالمن تعمیم داده شده همانند M_t در معادله (۳-۱) استفاده می‌گردد. به طور ویژه:

$$M_t = RP_x^{-1} \quad (۳-۳۷)$$

که P_x کوواریانس فرآیند و R مبنای مدرج بندی می‌باشد. ماتریس کوواریانس از UKF یک مرحله‌ای که \bar{X}_{t-N} را پیش فیلتر می‌کند، حاصل می‌شود. همان طور که \bar{X}_{t-N} محاسبه‌ای است که توسط فیلتر کالمن ارائه شده است، حساس است که وزن خطاها را با توجه به کوواریانس مربوط به آن محاسبه ویژه تغییر دهیم. اگر کوواریانس بالا باشد، M_t حاوی اجزاء کوچکتری خواهد بود که میزان خطاهای وزنی مربوط به آن‌ها را کاهش خواهد داد. اجرا کردن، به دلیل اختلاف زیاد میان \bar{X}_{t-N} و $\hat{X}_{t-N,t}$ ، میزان و انحراف نشان داده شده توسط هر گونه محاسبه بهینه‌ای همانند \bar{X}_{t-N} حساس می‌باشد و در واقع باید خودش آن را محاسبه کند.

۳,۳,۳ فیلتر بدون بو کالمن (UKF) در MHE

همان طور که در بخش (۱,۴) اشاره گردید، وظیفه پروژه کاوش جنبه‌های متفاوت مشاهده گر افقی متحرک می‌باشد. هدف اصلی این بود که مشاهده گر را با توجه به تغییرات در تابع هزینه، همراه با اصلاحاتی در مدل درجه سوم آن بهبود ببخشیم. به طور ویژه، تأثیرات نویزهای فرآیند بر مدل، با ساده کردن معادلات سیستمی به صورت زیر بررسی می‌گردد:

$$\dot{p}_c = \frac{\beta_a}{V_a} (q_{bit} - q_{choke} + q_{back} - \dot{V}_a) + v_1 \quad (۳-۳۸)$$

$$\dot{p}_p = \frac{\beta_d}{V_d} (q_p - q_{bit}) + v_2 \quad (۳-۳۹)$$

$$\dot{q}_{bit} = \frac{1}{M} (p_p - p_c - \theta_1 q_{bit} - \theta_2 |q_{bit}| q_{bit} + (\rho_d - \rho_a) g h_{bit}) \quad (۳-۴۰)$$

با V_1 و V_2 به ترتیب خطاهای مدل سازی شده در حالات p_p و p_c به دست می‌آیند. تمام متغیرهای دیگر و خروجی معادلات همان طور که قبلاً در بخش ۲,۱ توضیح داده شد می‌باشند. بر اساس جدول زمانی پروژه، این اجرای ساده همه آن چیزی است که آزموده شده بود، با این تفاوت که روش‌های دیگر نیز به طور مختصر تشریح شد. به طور کوتاه، بعضی از بخش‌های معادلات سیستمی نامعین‌تر از بخش‌های دیگر آن می‌باشند، و در نهایت فقط یکی می‌تواند به هدف نهایی بخش‌های دیگری باشد که در ارتباط با عدم قطعیت

هدف گذاری جدید مقیّد، وزنی و تنظیم شده معیار حداقل مربعات آمده در پروژه به صورت زیر بودند:

45

$$V_t = \begin{bmatrix} V_{t-N} \\ V_{t-N+1} \\ \vdots \\ V_t \end{bmatrix} \quad (3-42)$$

W_t و M_t و $I_t = [y_{t-N} \dots y_t, u_{t-N} \dots u_t]^T$ و N_t ماتریس‌های وزنی متغیر با زمان هستند. $\Omega \in \mathbb{R}^{n_v \times N \cdot n_v}$ و $\Gamma \geq 0$ برای مقادیر عددی $N_t = \Gamma \Omega$ توضیح داده شده، که بخش ۳،۱ پیش‌تر در بخش ۱ در هر ورودی دارند، اندازه‌گیریِ مجموعِ نویزهای فرآیند برای همهٔ پنجره‌ها. نویز مجاز بود در جهت یک $_1$ در هر حدّ اقل رساندن خطاها در محاسبات و حالت‌ها، آزادانه تغییر کند، اما وزنِ مستقیمِ $\|N_t V_t\|^2$ به منظور جلوگیری از مقادیر V_t که منجر به ترکیدن می‌گردند اضافه گردیده است.

تغییراتی که در بالا آورده شده‌اند تغییراتِ وعده داده شده را منجر می‌گردند، اما پیچیدگیِ زمانِ اضافی یک اشکال قابل توجه بود. تعداد متغیرهای بهینه ساز کلان گردید، و قدرتِ دستگاهِ قابلِ استحصال، نمی‌توانست شبیه سازی‌ها را به نحو رضایت بخشی به دست دهد. به طور ویژه، متحرک افقی می‌بایست به منظور نزدیک شدن به چهار برابرِ اندازهٔ اصلی خود، به جهت شبیه سازیِ ۳ نوبته در هر ۲۴ ساعت کاهش داده می‌شد.

29

بهینه سازی و با تغییرات کوچکی در آن، در مدل توسعه می‌یابد. این نویز فرآیند می‌تواند بدون افزودن متغیرهای بهینه سازی بیشتری در MHE گنجانده شود. فیلتر بدون بو کالمن برای هر تکرار مشکلات بهینه سازی، حالت‌های محاسبه و اندازه‌گیری برای همه افق که هزینه‌ها را کاهش دهد، نتیجه بخش باشد (۳,۱).

۳,۳,۴ استفاده از فیلتر بدون بو کالمن برای بدست آوردن \hat{x}_t از $x_{t-N,t}^0$

یک روش ساده‌تر که در آن زمان به صورت بی نهایت فرض گردیده است و در بخش ۳,۳,۴ تشریح گردیده در دسترس است. در اینجا مشکل واقعی بهینه سازی، به طور طبیعی توسط مشاهده گر افقی غیر خطی منظم در بخش ۳,۴ حل می‌گردد و محاسبه بهینه $x_{t-N,t}^0$ بر این اساس انجام می‌گیرد. به هر حال، محاسبه صحیح \hat{x}_t با تکرار $x_{t-N,t}^0$ در مدل حالت (اصلی) پیدا نمی‌شود، بلکه با استفاده از $x_{t-N,t}^0$ در وضعیت حالت اولیه برای یک فیلتر بدون بو کالمن تنظیم شده جداگانه به دست می‌آید. در این روش، تأثیرات نویز فرآیند بدون یک مجازات زمانی زیاد به خوبی ترکیب می‌شوند.

۳,۴ انطباق پارامتر

برای اصلاح محاسبات، پارامترهای لازم در مدل می‌بایست محاسبه گردند. هنگامی که به دنبال پارامترهایی برای محاسبه می‌گردیم، چند گزینه در دسترس هستند، اما برای بدست آوردن یک مدل دقیق، مهم است که یک انتخاب که دست و پاگیر می‌باشد و همراه با عدم قطعیت است، انتخاب کنیم. در این پروژه ترکیبی از پارامترهای زیر مورد محاسبه قرار می‌گیرد:

جدول ۳,۱: پارامترهای محاسبه شده

پارامتر	شرح
K_c	ثابت جریان مدل جریانی Choke
ρ_a	دانشیته سیال حفاری در آنالوس
θ_1	پارامتر تغییرات آهسته اصطکاک

۳,۴,۱ ثابت جریان مدل جریان Choke (K_c)

در بخش ۲,۱,۱ مدل Choke معرفی شده است. در آنجا تأکید گردیده است که ثابت جریان K_c یک پارامتر با عدم قطعیتی بالا می باشد و اولویت اول برای محاسبه می باشد.

۳,۴,۲ دانسیته سیال حفاری در آنالوس (ρ_a)

برای بالا آمدن همراه با ترکیبات سیال حفاری به این دلیل که دانسیته از درون سیال برابر است، تقریباً یک کار غیر ممکن است. به علاوه، دسترسی به اندازه گیری هایی که می تواند تصویر خوبی از تغییرات دانسیته سیال حفاری در آنالوس را رسم کند، محدود می باشد و قطعی نیست. بنابراین، ρ_a مانند انتخاب طبیعی دیگر برای تطبیق محاسبات به نظر می رسد. این حقیقت که ρ_a به صورت Offline و بر اساس اندازه گیری-هایی که Online نیستند تنظیم گردیده است، بیش از پیش این انتخاب را ضروری می سازد.

۳,۴,۳ پارامتر تغییرات آهسته اصطکاک (θ_1)

در بخش ۲,۱ به طور مختصر در مورد مدل سازی اصطکاک توضیح داده شد، به ویژه این امر که اصطکاک آنالوس به منظور ساده سازی به صورت جریان آرام مدل سازی گردیده است. با یکدیگر، همراه با این امر که θ_1 به طور مستقیم وارد معادله (۷-۲) می گردد، برای p_{bit} ، پارامتر اصطکاک مانند انتخاب طبیعی دیگر به منظور محاسبه به نظر می رسد. به طور مشابه با ρ_a ، θ_1 به صورت Offline تنظیم شده و به طور مستقیم به ρ_a بستگی دارد. این امر سبب می شود که یک ترکیبی از این دو پارامتر برای محاسبه به همراه انتخاب واضح و آشکار K_c ، ضروری به نظر برسند.

۳,۵ اجرا

برای آزمودن کارایی مشاهده گرها به طور کامل، باید آن ها را در یک محیط شبیه سازی مانند MATLAB به اجرا درآورد. Marcel Paache [19]، با جزئیات بیشتر توضیح می دهد که این امر چگونه انجام می گیرد، اما برخی از جنبه های مهم در این پروژه به طور موازی با اجرا و کاربرد فیلتر بدون بو کالمن مورد بحث قرار می گیرد.

۳.۵.۱ بازگو کردن مدل

برخی از مدل‌ها برای انتگرال‌گیری از یک مدل گسسته از یک مرحله یک زمانه به دیگر در دسترس هستند، اما به طور ویژه برای MHE، خود مشاهده‌گر قدرت محاسبه‌ای قابل توجهی را می‌طلبد. بنابراین، یک زوج از روش‌های ساده، برای استفاده مورد بررسی قرار گرفته است، که به نام‌های روش اویلر و روش نقطه میانی می‌باشند، که مدل را به ترتیب، بر طبق زیر بازگو می‌کنند:

$$x_{k+1} = x_k \cdot \Delta t \cdot f(t, x)$$

و

$$x_{k+1} = x_k \cdot \Delta t \cdot f\left(t + \frac{\Delta t}{2}, x_k + \frac{\Delta t}{2} \cdot f(t, x)\right)$$

این دو بر اساس سیستم آزمایش ساده تخمین زده می‌شوند:

$$\dot{x} = x, \quad x(0) = 1$$

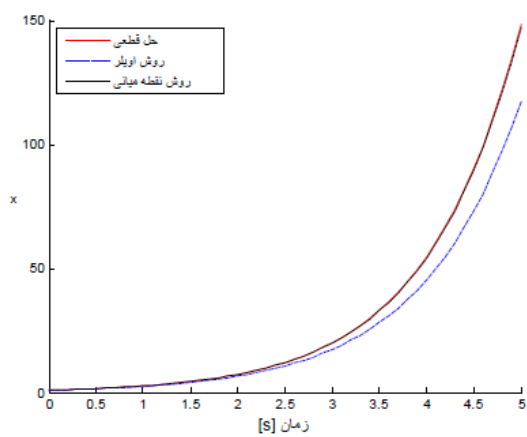
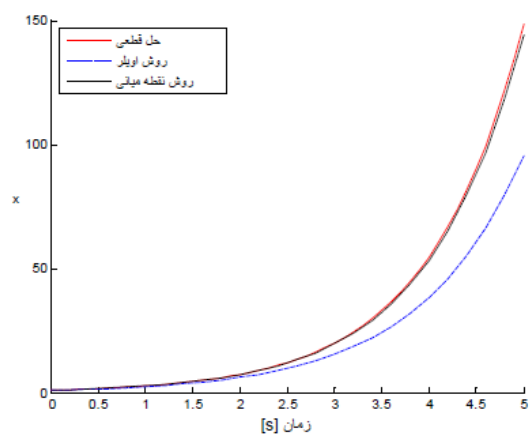
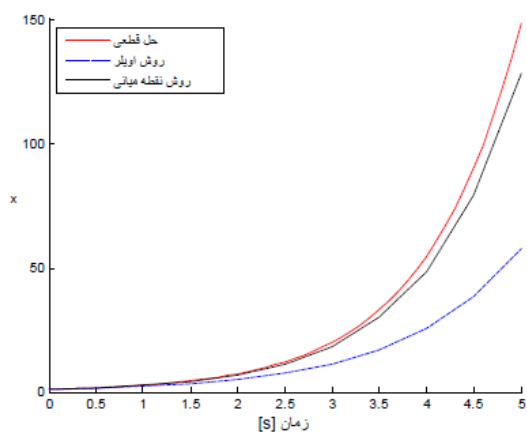
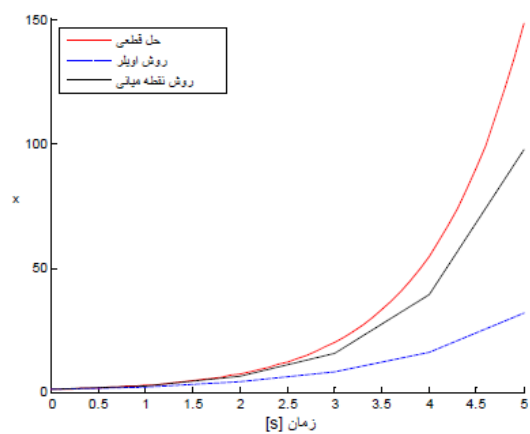
که دارای حل قطعی می‌باشد:

$$x(t) = e^t$$

شکل ۳،۴ نشان می‌دهد که چگونه دو روش متفاوت در مقایسه با حل قطعی در طول مراحل انتگرال‌گیری متفاوت عمل می‌کنند.

مقداری مشاهدات کلیدی انجام گشت:

اولاً، مشاهده گردید که روش نقطه میانی در طول هر چهار مرحله به طور قابل توجهی بهتر از روش اویلر است (Δt). دوماً، هیچکدام از روش‌ها در زمان‌های طولانی (Δt های بالا) به حل قطعی نزدیک نبودند و روش اویلر حتی نیاز به Δt های کمتری برای روش‌نمایی داشت.



شکل ۳،۴: دقت روش اویلر (خط ممتد آبی) و روش نقطه میانی (خط چین مشکی) برای $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{x}$.

فشار در متّه (p_{bit}) هنگامی که فشار Choke (p_c) بین ۱۰ تا ۳۰ barg متغیر است، بزرگی‌ای به اندازه ۲۴۰ barg دارد. نتیجتاً، حل کننده خطا را در p_{bit} بیشتر نشان می‌دهد، به این دلیل که بزرگی آن بیشتر است و تمامی خطاها در یک نتیجه مدرّج (اسکالر) در تابع هزینه ترکیب می‌شوند. این خطای مدرّج بندی برخی از متغیرهای دیگر را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد و چند نوع درجه بندی دیگر مورد نیاز است. پس، دامنه‌هایی برای برخی از متغیرهایی که وارد تابع هزینه می‌شوند تعیین گردید و عادی سازی به وسیله تقسیم بندی متغیرها بر اساس بیشترین مقدار دامنه آن‌ها انجام گردید.

۳,۵,۳ حل کننده برای معیار حدّ اقلِ مربّعات در MHE

معیار حدّ اقلِ مربّعات در مشاهده گر افقی متحرّک باید به حدّ اقل برسد. برای این پروژه، محیط بهینه سازی TOMLAB [18] جهت بهینه سازی سریع و قوی در مقیاس زیاد در MATLAB مورد استفاده قرار گرفته است.

تعداد وسیعی از حل کننده‌ها در دسترس هستند، که از میان آن‌ها حل کننده Ucsolve برای حل کردن این مشکل ویژه بهینه سازی انتخاب گردید. Ucsolve مشکلات غیر ضروری بهینه سازی غیر خطی را به وسیله محدوده‌های ساده‌ای از متغیرها، با استفاده از برخی از محبوب‌ترین روش‌های جستجو (مانند روش‌های نیوتون و BFGS)، برای بهینه سازی‌های غیر ضروری حل می‌کند.

تقریباً هر شکل بهینه سازی کلاسیک منجر به استفاده از شیب اشیاء و ماتریس Jacobian به منظور به حدّ اقل رساندن یک تابع هزینه می‌شود. متغیرهای بهینه سازی بیشتر، Jacobian های بزرگتری به دست می‌دهد، که زمان فرض گردیده که از منظر یک نقطه پیچیده محاسباتی شروع می‌شود.

این ماتریس‌ها ممکن است کاملاً پراکنده باشند و روش‌های مؤثری که از پراکندگی استفاده می‌کنند، در دسترس هستند [3]. به هر حال، در این پروژه Ucsolver به عنوان حل کننده در تمام زمان‌ها مورد استفاده قرار گرفته است.

چارچوب کاربردی در این پروژه توسط Marcel Paache به منظور شبیه سازی راندمان مشاهده گر افقی متحرک گسترش داده شده است. به طور مختصر، این چارچوب حاوی اسناد و توابعی برای بازگو کردن مدل، کنترل کننده ورودی، مشاهده گر افقی متحرک و تابع هزینه، محاسبات پارامتر، بارگذاری اطلاعات، ارزیابی شبیه سازی و می باشد. همچنین این چارچوب بالاترین کارایی را در توانایی راه اندازی چند شبیه سازی جداگانه را در یک صفحه گسترده نرم افزار Excel قبل از اجرا دارد، که این امر باعث می شود که چندین شبیه سازی بتوانند بدون هیچ مشکلی انجام شوند.

عمل Marcel Paache سبب شده که اجرا و شبیه سازی راندمان فیلتر بدون بو کالمن از این جهت که فقط توسط اسناد و توابع که قبلاً وجود داشته اند انتگرال گرفته می شود، آسان تر گردد. فیلتر در ابتدا بر روی نوسان ساز Van Der Pool که دارای پیچیدگی کمتری است (بخش ۳,۲) به جهت سادگی عیب یابی و آزمایش اولیه، اجرا گردید. به علاوه، یک تابع مشابه با آنچه قبلاً برای MHE در چارچوب وجود داشت، به همراه یک متغیر ایجاد گردیده است که انتخاب می کنند که کدام یک از مشاهده گرها در حین عملیات شبیه سازی بیشتر مورد استفاده قرار گیرد.

شبیه سازی و نتایج

۴.۱ اطلاعات Grane

شبه سازی با استفاده از اطلاعات میدان نفتی Statoil's Grane Field انجام شد. به هر حال، همه پارامترها مجهول هستند، لذا مقادیر آنها می‌بایست به دست آیند. ابتدا، دانسیته سیال حفاری در آنالوس ثابت فرض شده است و می‌توان آن را با استفاده از رابطه $P = \rho gh + P_0$ محاسبه کرد، که برای وضعیت‌هایی که جریان وجود ندارد به صورت زیر می‌باشد:

$$\rho_a = \frac{p_{bit,pd} - p_{c,pd}}{gh_{bit}} \quad (4-1)$$

سپس، میانگین دانسیته سیال درون رشته حفاری به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

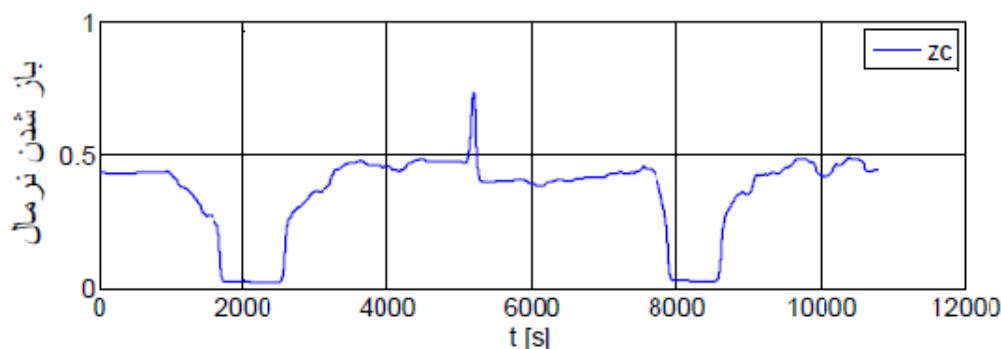
$$\rho_d = \rho_a - \frac{p_{diff}}{gh_{bit}} \quad (4-2)$$

که p_{diff} به دلیل اختلاف فشار میان پمپ و Choke به وجود می‌آید. این عدد یک پارامتر تنظیم کننده است و نمودارها (log) به دلیل وجود شیر قطع کننده فشار مفروض نمی‌توانند آن را به طور دقیق محاسبه کنند. به علاوه، حجم فضای حلقوی و رشته حفاری بر اساس روابط هندسی و با استفاده از اطلاعات تأمین شده از Grane تأمین می‌گردد، اما در اینجا نمایش داده نمی‌شود. در آخر، ضریب اصطکاک با استفاده از مقادیر پایستاری که از اطلاعات Grane به دست آمده و در روابط زیر گنجانده می‌شود، حاصل می‌شود:

$$\theta_1 = \frac{p_{bit,ss} - p_{c,ss} - \rho_a gh_{bit}}{q_{bit,ss}} \quad (4-3)$$

$$\theta_2 = \frac{-p_{bit,ss} + p_{p,ss} + \rho_d gh_{bit}}{q_{bit,ss}^2} \quad (4-4)$$

اطلاعات Grane همچنین اطلاعات نرمال شده باز کردن شیر اطمینان را که در این بخش برای همه شبه سازی‌های یکسان را به دست می‌دهد.



شکل ۴.۱: باز شدن نرمال شیر اطمینان (۰: بسته، ۱: کاملاً باز)

تمام پارامترهای مورد استفاده به همراه توصیفات مرتب آن‌ها به طور خلاصه شده در جدول ۴,۱ آمده است.

جدول ۴,۱: مقادیر منتخب و تنظیم شده پارامترها، که با استفاده از اطلاعاتی از Statoil's Grane Field محاسبه گردیده-اند.

پارامتر	مقدار	شرح
V_a	11.8	حجم آنالوس
V_d	4.6	حجم رشته حفاری
β_a	8000	مدول توده ای آنالوس
β_d	10000	مدول توده ای رشته حفاری
$\bar{\rho}_a$	0.0118	دانسیته متوسط آنالوس
$\bar{\rho}_d$	0.0115	دانسیته متوسط رشته حفاری
K_c	1	شاخص بهره وری جریان برای مدل Choke-Flow
p_0	0	فشار پایین دست
θ_1	420	ضریب اصطکاک آنالوس
θ_2	135310	ضریب اصطکاک رشته حفاری
M	65000	حجم جریان برای انتقال فشار
h_{bit}	1827.6	عمق عمودی مته در $t=1$
g	9.81	شتاب گرانشی

۴,۱,۱ به روز رسانی مقادیر

علاوه بر مقادیر پارامترها، Grane نیز مقادیری از p_c ، p_p و p_{bit} در اختیار ما می‌گذارد. در هر حال، بسامدهای متفاوت به روز رسانی می‌بایست به عنوان مقادیر جدید فشار پمپ و فشار Choke که در $f_{p_c, p_p} = 1Hz$ در دسترس هستند مورد استفاده قرار می‌گرفت، به طوری که فشار در مته تنها در $f_{p_{bit}} = 0.05Hz$ به روز رسانی می‌شد. محاسبات، زمانی که مقادیر جدید p_c و p_p می‌رسید، آغاز می‌-

شد، اما زمان ۱۹ ثانیه‌ای در این میان باید به طور هوشمندانه‌ای مورد استفاده قرار بگیرد. روش‌ها برای دو نوع مشاهده‌گری که در این پایان نامه مورد آزمایش قرار گرفته‌اند متفاوت است.

۴,۱,۱,۱ مشاهده‌گر افقی متحرک

مشاهده‌گر افقی متحرک یک پس روی در جهت افق دارد که اگر اندازه روزنه به دقت انتخاب گردد عواقب ناشی از این مشکل را کاهش می‌دهد. انتخاب یک روزنه بزرگ شامل اطلاعات بیشتری درباره اینکه چگونه سیستم با گذشت زمان متحول می‌شود، می‌گردد که در برخی از اندازه‌گیری‌های p_c و p_p مد نظر قرار گرفته می‌شود. همچنین مطلوب است که شامل اعداد ضروری از اندازه‌گیری‌های p_{bit} باشد، اما به دلیل فرکانس به روز رسانی پایین، افق به دلیل یک نقطه محاسباتی پیچیده، از این منظر بسیار غیرقابل تحمل خواهد بود. پس، بسیار با اهمیت است که افق را طوری نگه داریم که شامل اندازه‌گیری‌های جدید شود و با تعریف:

$$N = \frac{\text{included measurements of } p_{bit}}{f_{p_{bit}}}$$

این نیاز ویژه برطرف می‌گردد. مگر اینکه به طور دیگر تغییر حالت دهد، در این پایان نامه $N=40$ مورد استفاده قرار می‌گیرد. دو مقدار از p_{bit} در هر محاسبه استفاده می‌شود.

این از فرکانس‌های متفاوت به روز رسانی تبعیت می‌کند، که بردار مقدار Y_t (۲-۳) باید به این دلیل که بسیاری از ورودی‌های آن هیچ مقداری به همراه ندارند، اصلاح گردد. این امر با استفاده از تعریف اولیه ماتریس انجام می‌پذیرد:

$$Y_{error} = Y_t - H(x_{t-N,t}, U_t)$$

که Y_t و $H(x_{t-N,t}, U_t)$ قبلاً در بخش ۳,۱ توضیح داده شده‌اند. به علاوه، هر جزء در Y_{error} که برابر یک جزء خالی در Y_t باشد، مقدار آن برابر صفر $_0$ در نظر گرفته می‌شود. همچنین برای تنظیم کردن رخ داد، وزن آریب در معیار حداقل مربعات (۱-۳)، Y_{error} بر طبق زیر اصلاح می‌گردد:

$$Y'_{error} = \frac{Y_{error} \cdot N}{N - M}$$

که M برابر با مقدار صفرها در Y_{error} است. این اطمینان می‌دهد که بخش‌ها در تابع هزینه به درستی وزن بندی شده‌اند.

فیلتر بدون بو کالمن از افق استفاده نمی‌کند و آسیب پذیرتر از عدم اندازه‌گیری می‌باشد. بنابراین، این پایان نامه روش‌های مختلفی برای مدیریت مشکل در بخش ۳,۲,۱ معرفی کرده است. به ویژه، فیلتر بدون بو کالمن با منظم سازی (تنظیم) (بخش ۳,۲,۱,۲) رفتار مورد انتظار را در آزمایش‌های اولیه نشان می‌دهد و تمرکز اصلی بر روی نتایج خالص UKF است که در این بخش آورده شده است.

یک راه حل دیگر آن است که در بخش ۳,۲,۱,۱ معرفی گردید و آن این است که محاسبات را با استفاده از آخرین اندازه‌گیری داده شده انجام دهیم. این یک راه حل است که ظاهراً کارایی خوبی دارد، اما همان طور که پیش‌تر اشاره شد، نگرانی‌ها از نادیده گرفته شدن دینامیک سیستم در برهه نسبتاً طولانی میان به روز رسانی‌ها می‌باشد.

۴,۲ محاسبه و ثبات پارامتر

NMHE منظم شده توسط Sui dan گسترش داده شده و در بخش ۳,۱ خلاصه گردیده است، دارای یک توانایی منحصر به فرد در مسدود کردن پارامتر زمانی است که اطلاعات کمی در سیستم قابل دسترسی است. این امر همان طور که در بخش ۳,۱ اشاره شد به طور کامل توسط Sui Dan توضیح داده شد و با صفر قرار دادن وزن پارامترها هنگامی که رؤیت و تحریک کم است، انجام گردید. در نتیجه، مشاهده‌گر می‌تواند تعداد زیادی متغیر را بدون کاهش راندمان به طور رضایت بخشی محاسبه کند.

به هر حال، برای فیلتر بدون بو کالمن موردی نیست که هر حالت پردازش و پارامتر بدون توجه به مشاهده پذیری محاسبه می‌گردد. خصوصاً هنگامی که مقادیر p_{bit} غایب هستند، ممکن است اطلاعات کافی در سیستم برای محاسبه درست θ_1, ρ_a, K_c و یا پارامترهای مطلوب دیگر وجود نداشته باشد.

۴,۳ مشاهده‌گر افقی متحرک غیر خطی (NMHE)

بیشتر کارها و نتایج بر روی مشاهده‌گر افقی متحرک غیر خطی در مأموریت پروژه که پیش از این پایان نامه نوشته شده است انجام گردیده است. بنابراین، نتایج آمده در این بخش غالباً برای اهداف مقایسه‌ای می‌باشد، اما آن‌ها به دقت مورد بحث و آزمایش توسط دیگران قرار خواهند گرفت. ابتدا یک شبیه سازی از

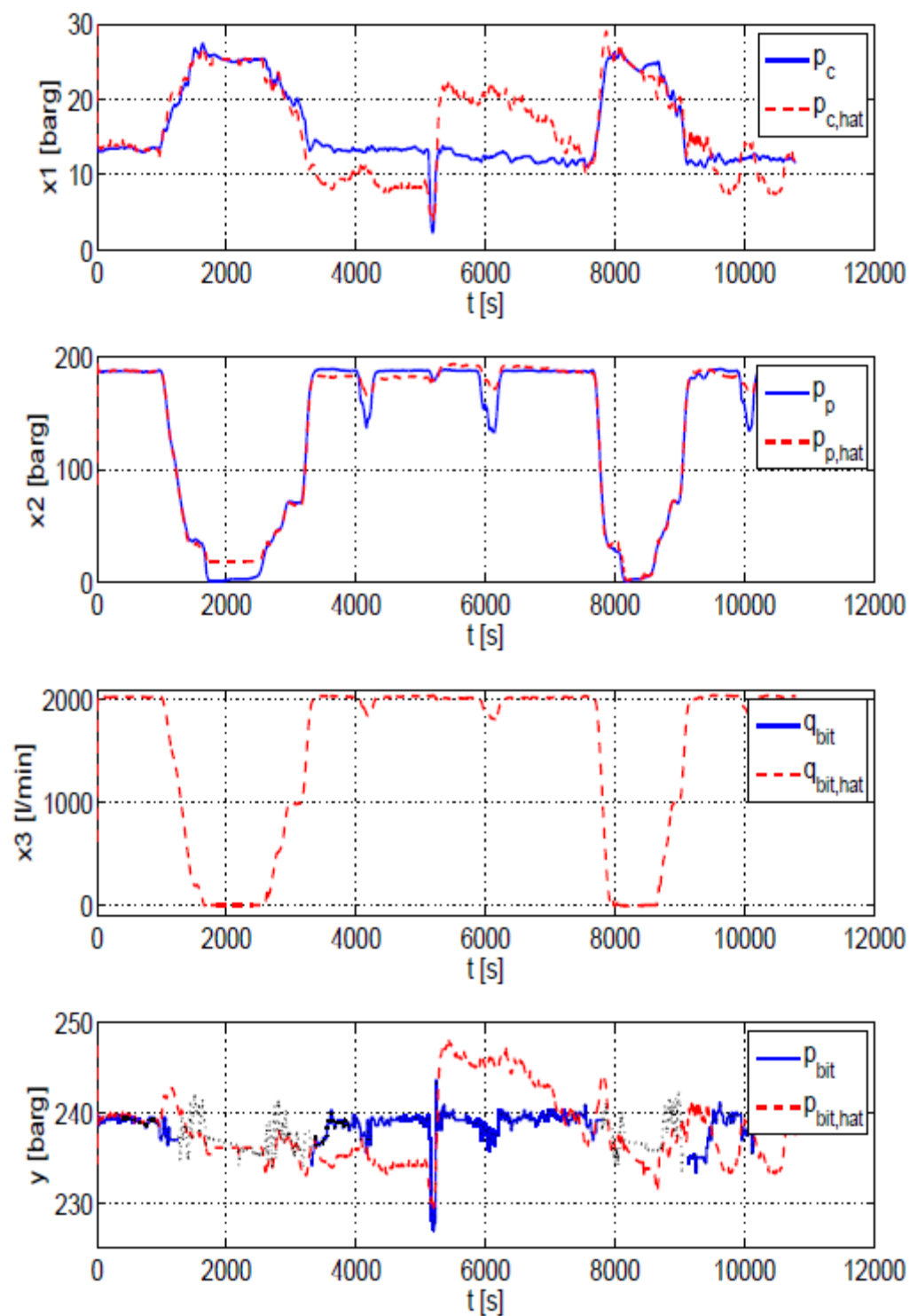
سیستم، بدون تطبیق پارامتر و با استفاده از مقادیر محاسبه شده از اطلاعات Grane (بخش ۴,۱) انجام گردید. سپس، یک ترکیب از سه انطباق پارامتر در جهت اصلاح امیدوارانه کارایی انجام گردید.

۴,۳,۱ بدون تطبیق

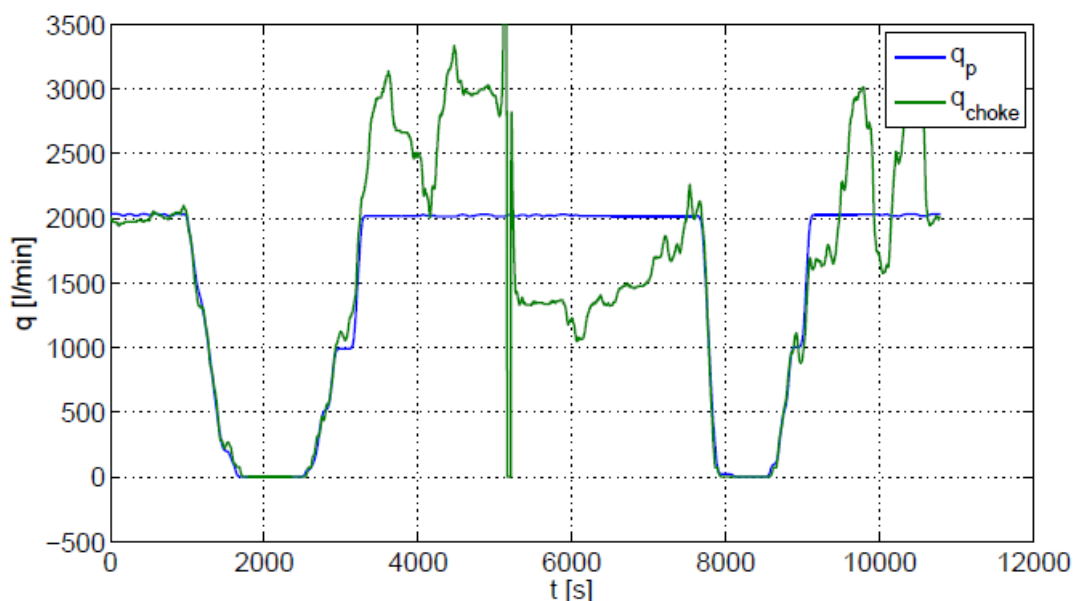
شبیه سازی اول از سیستم، بدون هیچگونه نويز فرآیند مدل شده و بدون تطبیق پارامتر است و رفتار مورد انتظار از RNHME را نمایش داد (شکل ۴,۲). در حالت اولیه، p_c و p_p به سرعت به مقدار اندازه گیری شده نزدیک می شوند و همین برای محاسبه فشار ته چاهی و p_{bit} مورد استفاده قرار خواهد گرفت. در این جا هیچ اندازه گیری ای برای بدست آوردن جریان در مته انجام نمی گیرد و در نتیجه هیچ یک از خصوصیات ویژه در مورد حالت سوم و q_{bit} گفته نخواهد شد. در هر صورت، همان طور که معادلات سیستمی پیش بینی می شود، وابستگی شفاف میانی p_c و p_p کشف خواهد شد.

شبیه سازی اولین اتصال لوله، که در نیمه دوم شبیه سازی انجام می گیرد، محاسبات موفقی برای p_{bit} به دست می دهد. در این فاز به خصوص که در آن دسترسی به اندازه گیری های Online به طور عادی امکان ندارد، بسیار سخت است که بتوانیم تخمین های خوبی انجام دهیم. در هر صورت، همان طور که در شکل ۴,۲ مشاهده گردید، اندازه گیری هایی که در این مجموعه ویژه داده ها باید وجود داشته باشد. این داده ها فقط برای مقایسه و تأیید اهداف می باشند و در نتیجه به عنوان ورودی مشاهده گر مورد استفاده قرار نمی گیرند. بعد از اتصال اولین لوله و در مدت توقف (استراحت) شبیه سازی، دقت محاسبه به شدت بدتر شد و \hat{p}_{bit} با استفاده از روش 10 barg مقدار دورتری را نشان می داد که به کلی غیر قابل قبول است.

این امر به آسانی منجر به ایجاد خطا در محاسبه p_c گشته که در واقع به میزان بسیار زیادی از q_{choke} تأثیر می پذیرد. تأیید برای بزرگترین مقداری است که در مقایسه شکل ۴,۲ با شکل ۴,۳ بدست می آید، جایی که یک رابطه متمایز میان q_{choke} و خطای محاسبه p_c قابل مشاهده است. این امر محاسبه بهره جریان را در مدل جریان Choke (K_c) را بسیار برمی انگیزد.



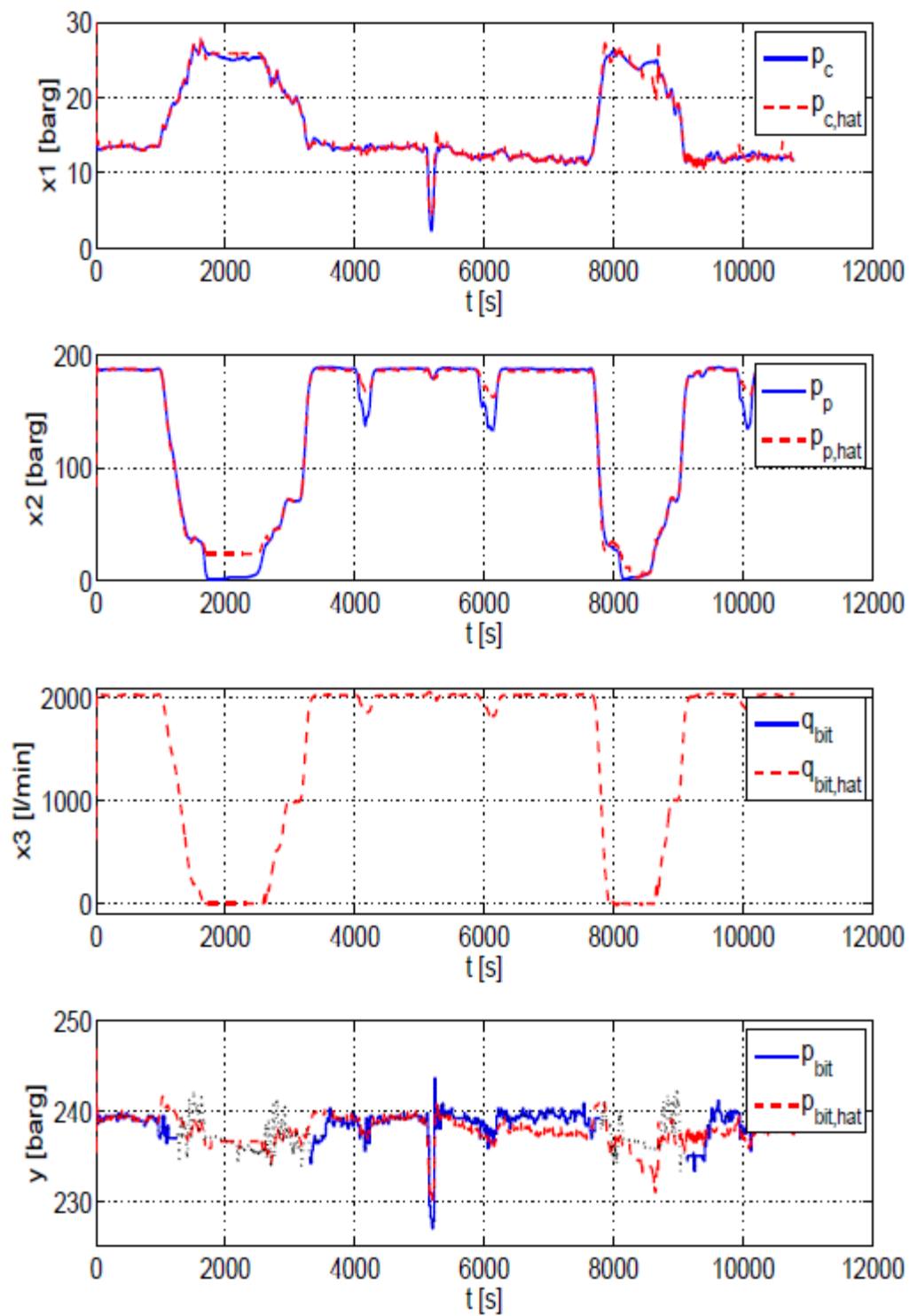
شکل ۴،۲ : MHE بدون تطبیق: حالت‌های اندازه‌گیری شده و فشار ته چاهی (خط ممتد، آبی)، محاسبات (خط تیره، قرمز)، مقادیر نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی)



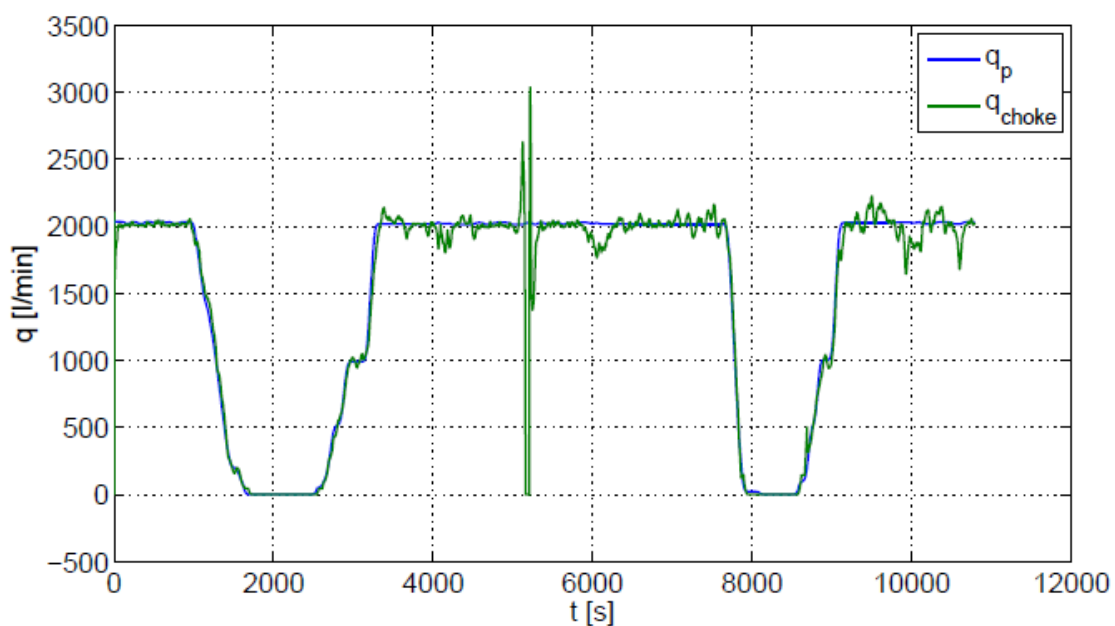
شکل ۴,۳: بدون تطبیق: حجم جریان در پمپ (خط ممتد، آبی)، و حجم جریان در Choke (خط ممتد، سبز)

۴,۳,۲ تطبیق بهره وری جریان (K_c)

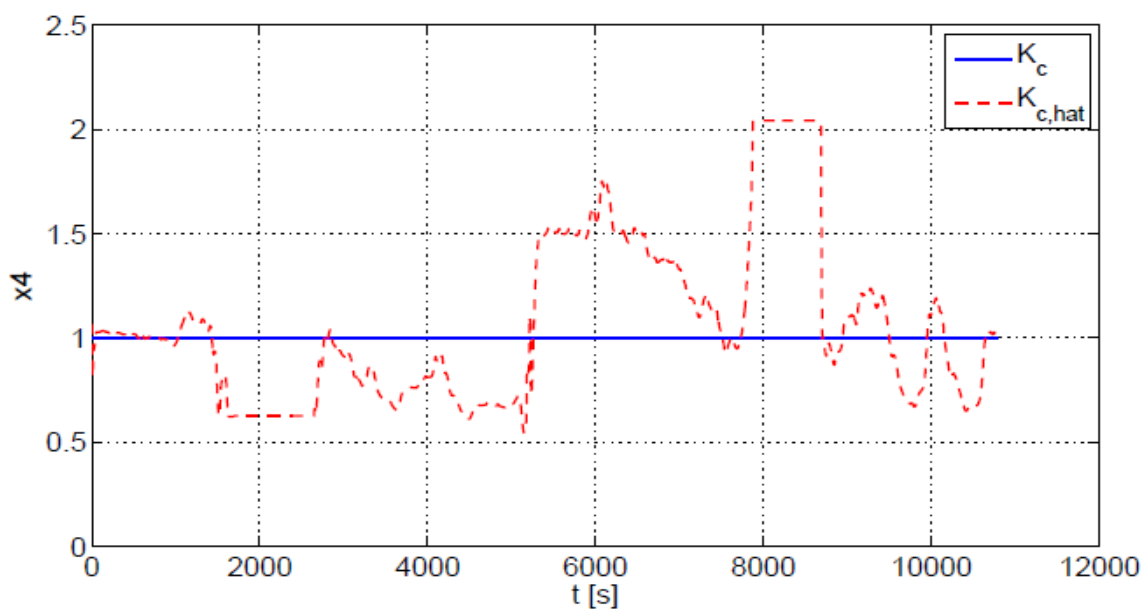
بخش قابل محاسبه بهره وری جریان (K_c) را با تغییرات در محاسبات تا جایی که به q_{choke} مربوط بود انجام داد. شکل ۴,۴ به طور شفاف نشان می‌دهد که چگونه انطباق K_c (ترتیب اثر دادن K_c) راندمان را افزایش می‌دهد و تغییرات همان گونه که انتظار می‌رفت بر روی q_{choke} تأثیر می‌گذارند (شکل ۴,۵). به طور خاص، محاسبات p_c به طور قابل توجهی بهتر از نتایج شبیه سازی است و همچنین \hat{p}_p به تدریج اصلاح می‌گردد، به خصوص در برهه زمانی اتصال دو لوله در پلان شبیه سازی. از سوی دیگر، در حین اتصال لوله‌ها راندمان تقریباً به همان اندازه (یکسان) است، که می‌توان آن را با یک تنظیم نسبتاً خوب ρ_a و θ_1 در ترکیب با یک محاسبه کلی حالت مرتب شرح داد.



شکل ۴،۴: MHE با انطباق بهره وری جریان (K_c): حالت ها و فشار ته چاهی اندازه گیری شده (خط ممتد، آبی)، محاسبات (خط ممتد، قرمز)، مقادیر نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی)



شکل ۴,۵: MHE با انطباق بهره وری جریان (K_c): حجم جریان در پمپ (خط ممتد، آبی)، و حجم جریان در Choke (خط ممتد، سبز)



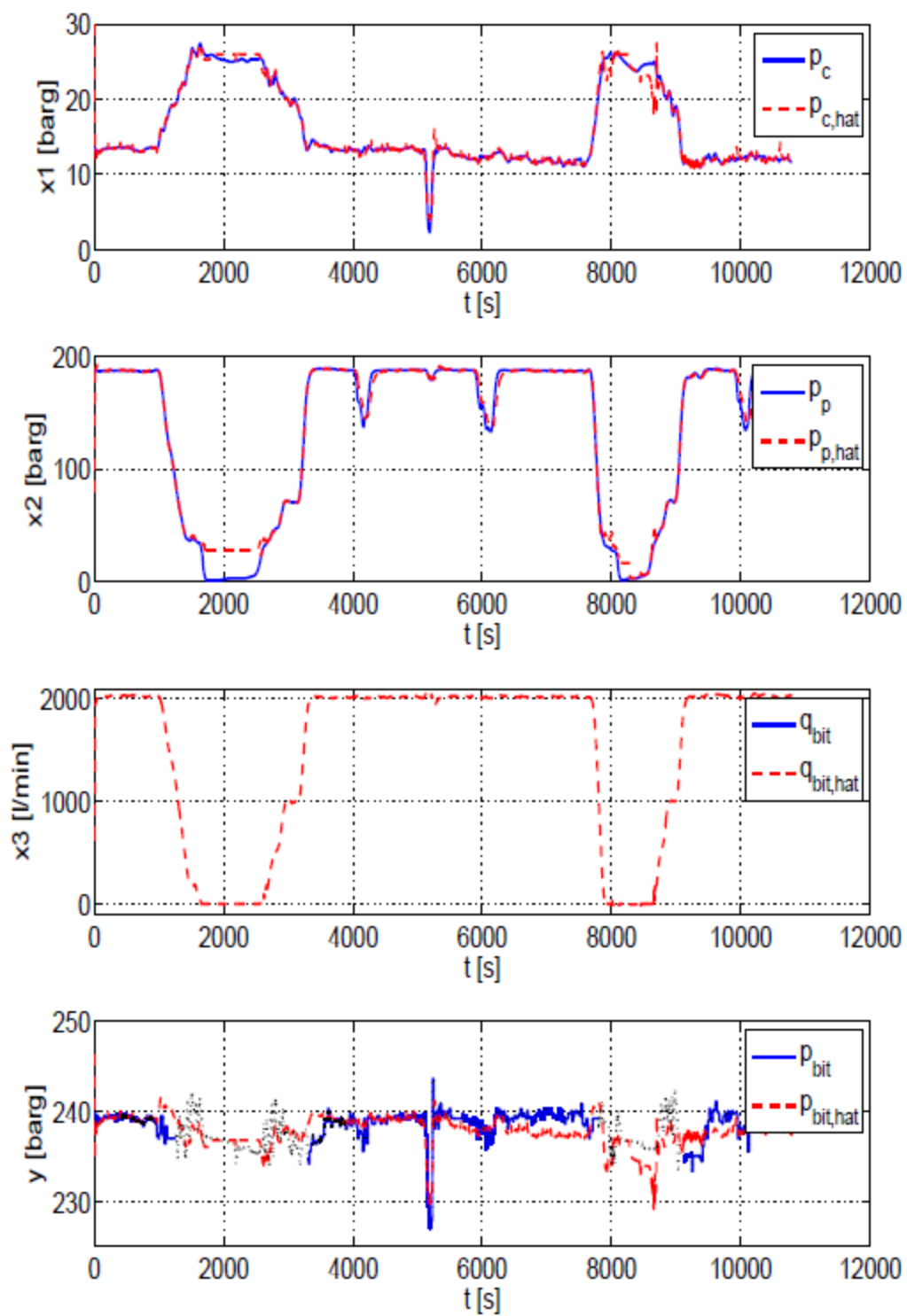
شکل ۴,۶: MHE با انطباق بهره وری جریان (K_c): K_c انطباقی (خط ممتد، قرمز) و K_c تنظیم شده به صورت Offline (خط ممتد، آبی)

۴,۳,۳ انطباق بهره وری (راندمان) جریان (K_c)، دانسیته سیال در آنالوس (ρ_a) و ضریب اصطکاک آنالوس (θ_1)

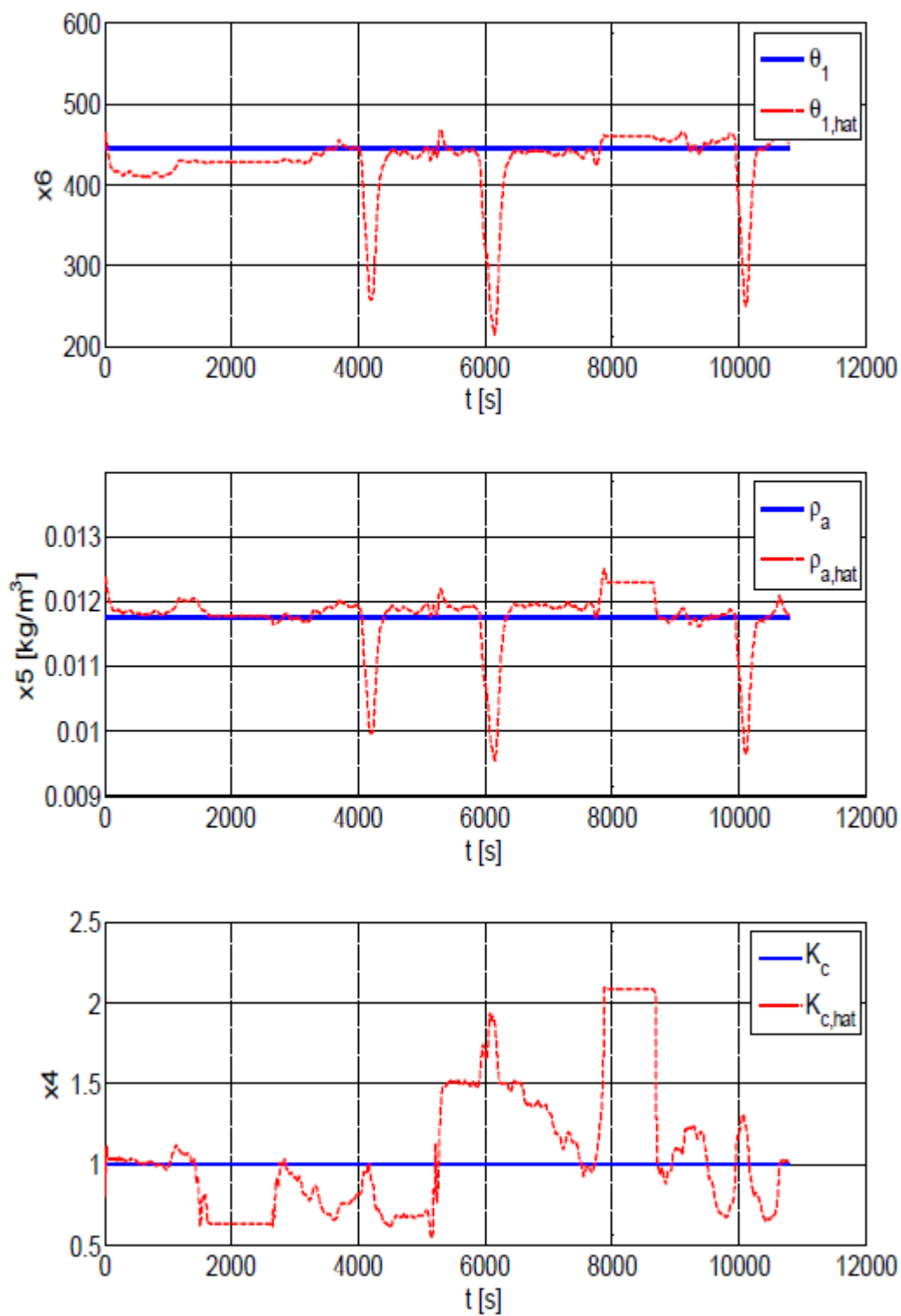
به دنبال یک تخمین بهتر، تطبیق ترکیبی از K_c ، ρ_a و θ_1 مورد آزمون قرار گرفت. دلایل انجام این کار زیاد هستند. ابتدا، دانسیته سیال آنالوس به طور مستقیم بر معادله (۲-۳) برای q_{bit} و معادله (۲-۷) برای p_{bit} تأثیر می‌گذارد. دوّمأً، دانسیته و ضریب اصطکاک در جهت پایداری کردن اطلاعات تنظیم شده‌اند که معقول است انتظار داشته باشیم که با رفتار گذرا که در هنگام اتصال لوله‌ها رخ می‌دهد مواجه نشویم. همچنین مهم است که روشی را در Choke Model اجرا کنیم که در آن ρ_a در K_c ادغام شده است. همان طور که در بخش ۲,۱,۱ بدان اشاره شد نیز تصدیق کنیم. همان طور که مقادیر پایداری که برای تنظیم Offline θ_1 و ρ_a به کار می‌روند، به طور مستقیم با یکدیگر مرتبط هستند، این احساس ایجاد می‌شود که محاسبات را با استفاده از ترکیبی از این دو پارامتر انجام دهیم.

متأسفانه، دقت کلی مشاهده‌گر فقط ظاهراً افزایش می‌یابد. با بررسی شکل ۴,۷ و مقایسه آن با شکل ۴,۴ فقط یک اصلاح کوچک در محاسبه p_p در هنگام down-link (یک ارتباط از سطح با تجهیزات ته چاهی برای تغییر جهت حفاری) مشاهده می‌شود که تقریباً در زمان‌های ۴,۰۰۰، ۶,۰۰۰ و ۱۰,۰۰۰ ثانیه فرستاده شده است. این امر محاسبات q_{bit} را که به طور مستقیم وارد معادله (۲-۷) برای محاسبه p_{bit} تحت تأثیر قرار می‌دهد و به وسیله محاسبه دقیق معادلات p_{bit} ، با و بدون انطباق ρ_a و θ_1 ، یک کاهش جزئی در خطای تخمین ملاحظه می‌شود.

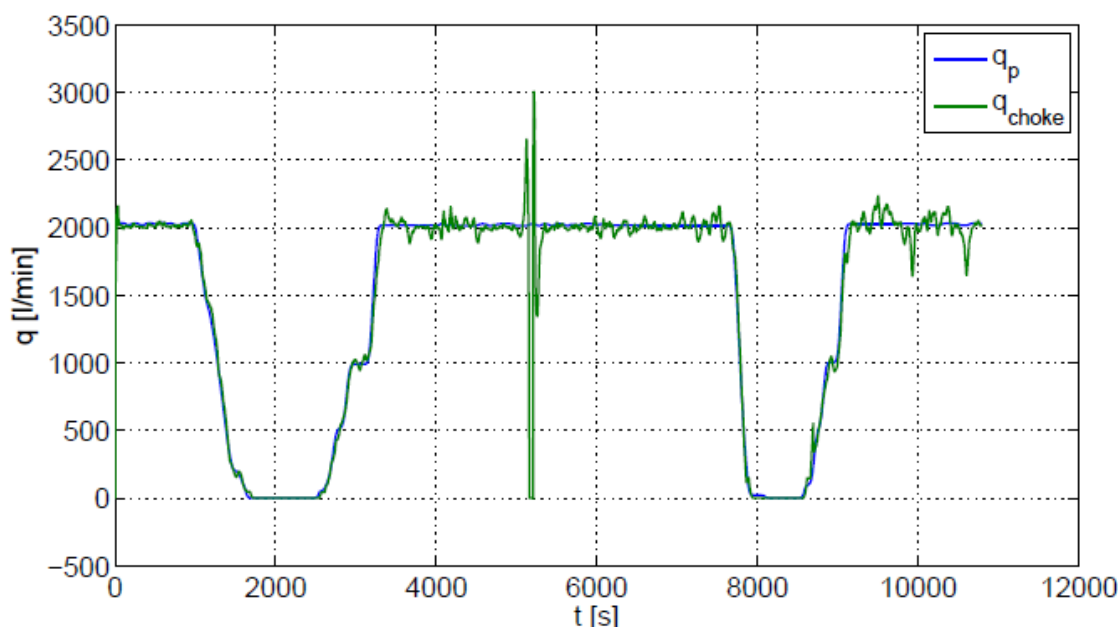
به هر حال، اصلاحات جزئی هستند و ممکن است افزایش‌های به دست آمده به وسیله فقط انطباق K_c به آنچه به دست خواهد آمد نزدیک باشد. همان طور که گفته شد، پارامترهای محاسبه شده به سختی به صورت Online قابل دستیابی هستند و بنابراین، انطباق برای همه آن‌ها مطلوب است. این بخش نتایج با ارزشی را در اختیار ما قرار می‌دهد، که نشان می‌دهد راندمان علیرقم عدم قطعیت برخی پارامترهای مختلف مدل، می‌تواند بالا باشد.



شکل ۴،۷: MHE با انطباق K_c ، ρ_a و θ_1 : حالات و فشار ته چاهی اندازه‌گیری شده (خط ممتد، آبی)، تخمین‌ها (خط تیره، قرمز) و مقادیرِ نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی)



شکل ۴،۸: MHE با انطباق K_c ، ρ_a و θ_1 : پارامتر تخمین زده شده (خط تیره، قرمز)، مقداری که در زمانی که پارامتر تخمین زده نشده است مورد استفاده قرار گرفته (خط مممتد، آبی)

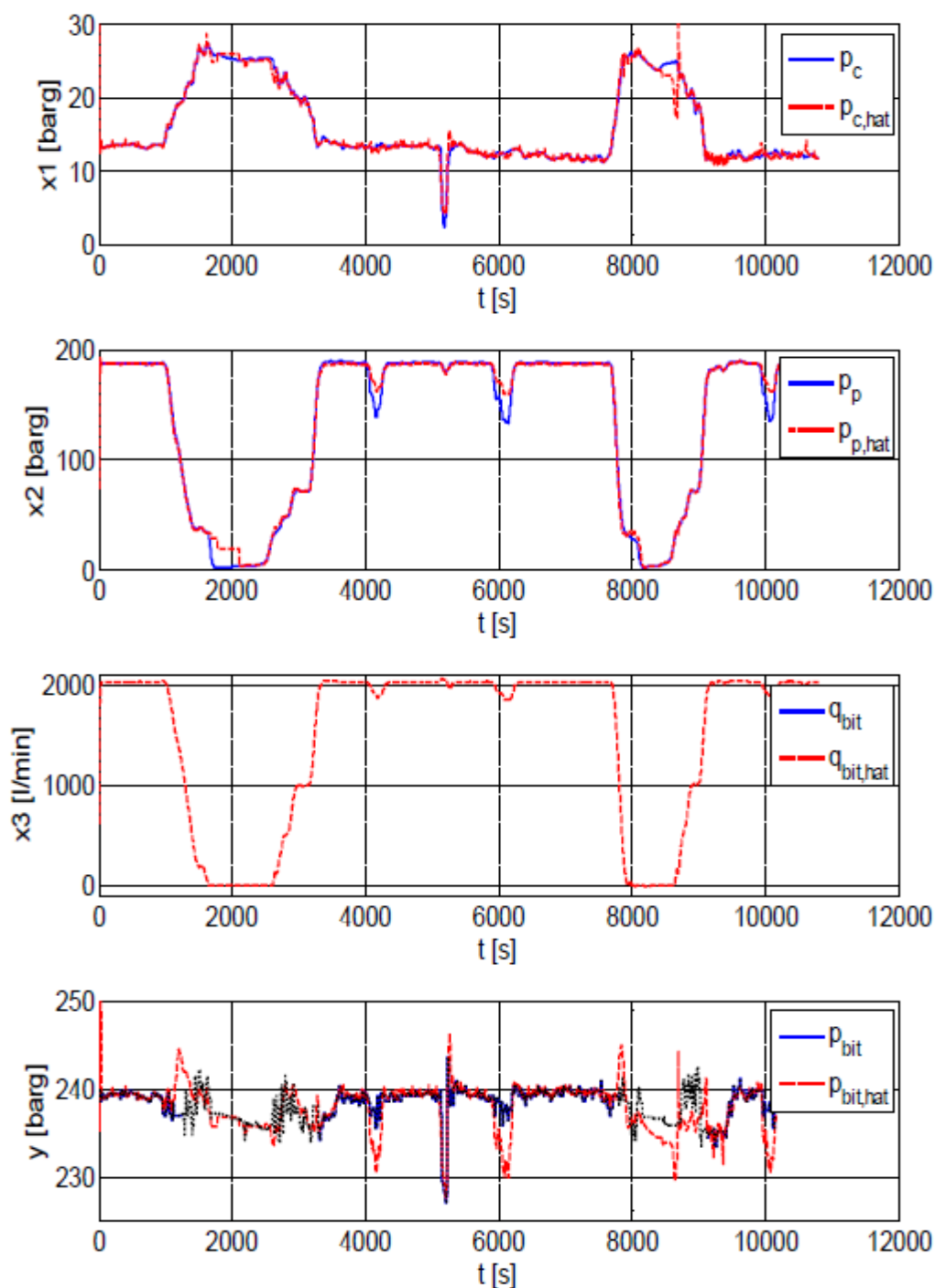


شکل ۴،۹: MHE با انطباق K_c ، ρ_a و θ_1 : حجم جریان در پمپ (خط ممتد، آبی)، حجم جریان در Choke (خط ممتد، سبز)

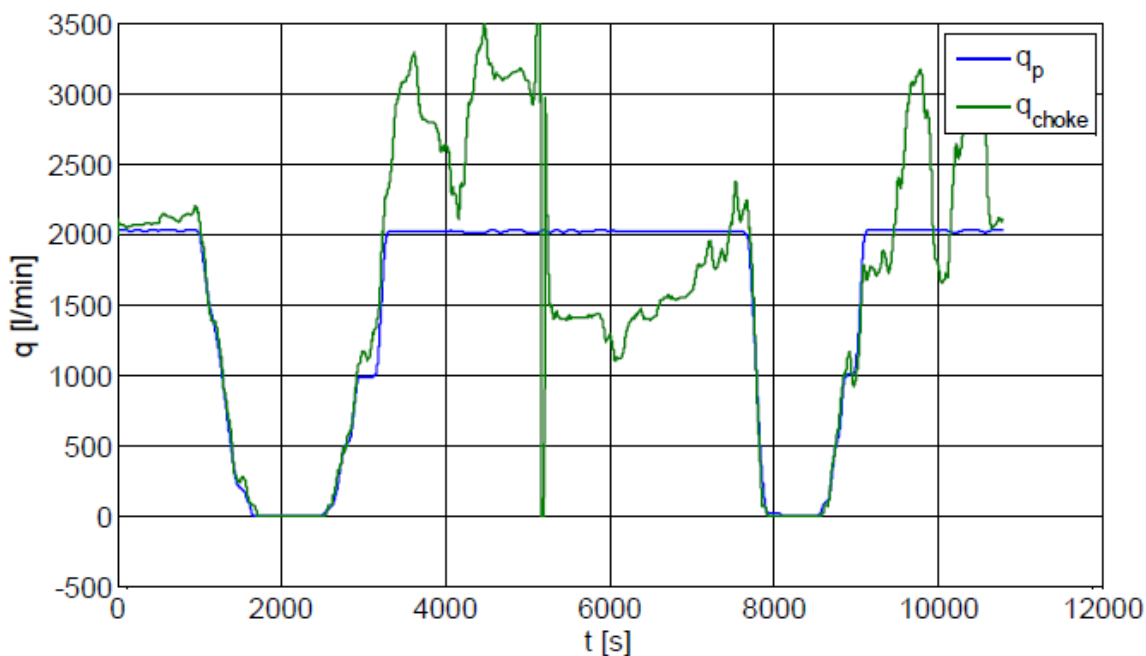
۴،۴ مدل سازی اصطکاکِ آنالوس

مدل اصلاح شده اصطکاکِ آنالوس در بخشی ۲،۱،۵ معرفی گردید و از پارامتریزه کردن خطاها و توابع اساسی به منظور تخمین اصطکاکِ آنالوس استفاده کرد. شکل ۴،۱۰ نشان می‌دهد که چگونه مشاهده‌گر افقی متحرک، با انطباق K_c و θ_i برای $i = 1, \dots, 4$ با مدل اصطکاکِ مطرح جدید عمل می‌کند. متأسفانه، تخمین زدن با این مدل اصطکاک منجر به خراب شدن می‌شود، اما تعداد کمی از رفتارهای مورد انتظار مشاهده می‌شود. بعد از اتصال آخرین لوله (آخرین اتصال لوله) که تقریباً در زمان ۱۰۰۰۰ ثانیه رخ می‌دهد، نشان می‌دهد که تخمین مقدار p_{bit} بهتر از اکثر شبیه سازی‌های دیگر صورت گرفته است. همچنین، در هنگام اولین اتصال لوله، تخمین‌ها مقادیر را به خوبی به صورت خطوط مستقل (منحنی‌های مستقل) نشان می‌دهند (به نمودار می‌کشند). به هر حال، قله‌های بزرگ نمودار که در حوالی زمان‌های 1500 s، 4000 s، 6000 s، 8500 s و 10000 s مشاهده شده، به طور کامل غیر قابل قبول می‌باشند.

شاید با تنظیم و بررسی بیشتر بتوان تخمین‌ها را اصلاح کرد، اما به دلیل بارگذاری محاسباتی ویژه بزرگ (بخش ۴,۷) قابل مقایسه نیست و شامل خطا یا شکست بود.



شکل ۴,۱۰: MHE با انطباق مدل اصطکاک و بهره وری جریان: (K_c) حالت‌ها و فشار ته چاهی اندازه‌گیری شده (خط مممتد، آبی)، تخمین‌ها (خط تیره، قرمز)، مقدار نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی)



شکل ۴،۱۱: MHE با انطباق مدل اصطکاک و بهره وری جریان: (K_c) حجم جریان در پمپ (خط ممتد، آبی) و حجم جریان در Choke (خط ممتد، سبز)

۴،۵ فیلتر بدون بو کالمن (UKF)

برای مشاهده این که آیا فیلتر بدون بو کالمن می‌تواند به خوبی مشاهده‌گر افقی متحرک عمل کند یا خیر، فیلتر بدون بو کالمن روی برخی از وضعیت‌های متفاوت حفاری، همانند بخش قبل، آزمایش گردید. دو فیلتر معرفی گردید که از مقادیر اندازه‌گیری p_{bit} در روش‌های اندکی متفاوت استفاده می‌کنند. اولین UKF فقط اندازه‌گیری‌های p_{bit} را هنگامی که اندازه‌گیری‌های جدیدی در دسترس باشد، به روز رسانی می‌کند، در حالی که فیلتر دوم اندازه‌گیری‌های به روز شده‌ای که از فیلتر قبلی رسیده است را در تمامی زمان‌ها مورد استفاده قرار می‌دهد. فیلتر دوم امکان یک تنظیم منحصر به فرد برای فیلتر را ایجاد می‌کند.

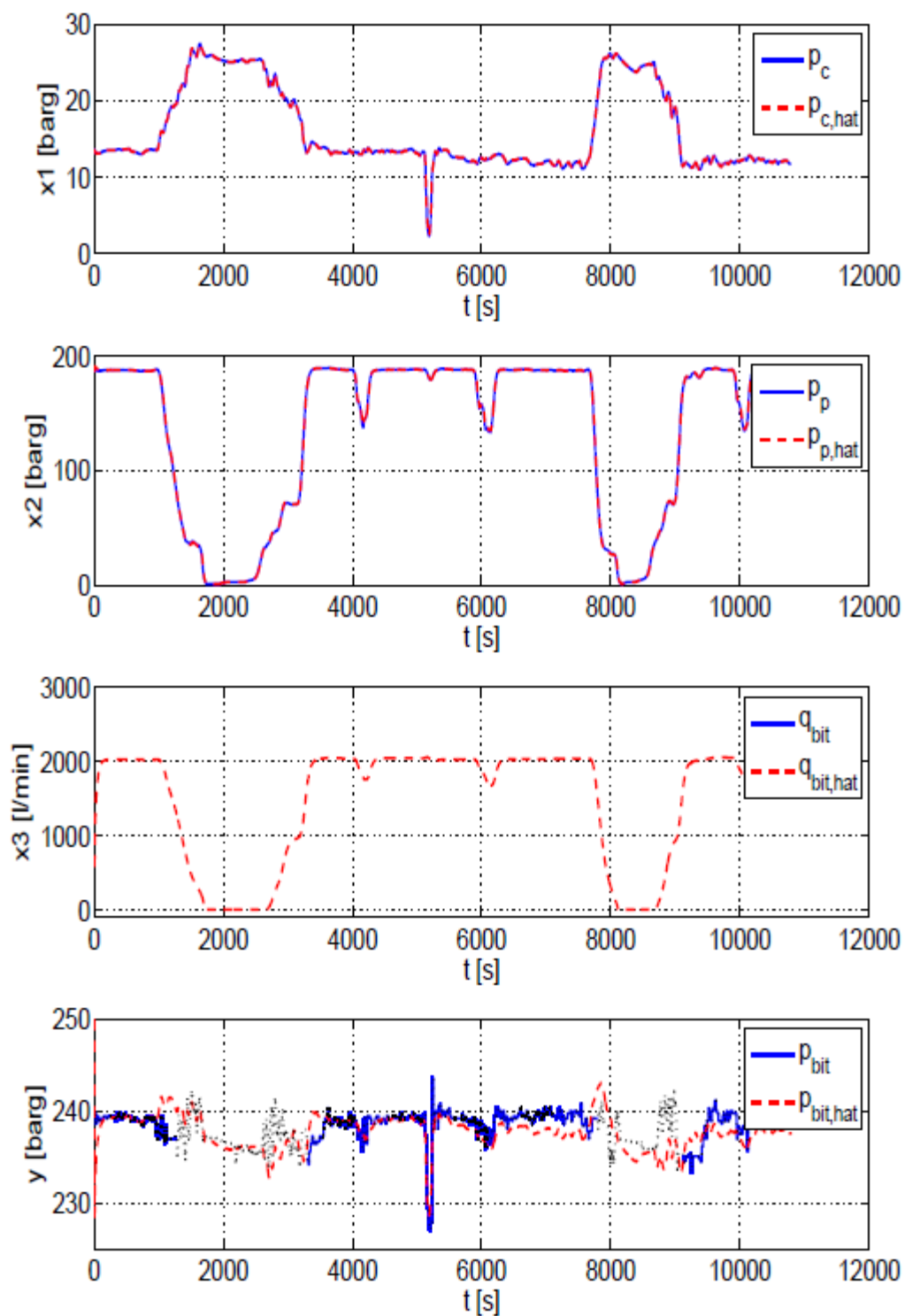
۴,۵,۱ چشم پوشی کردن از آخرین اندازه‌های در دسترس

نتایج آمده در این بخش مربوط به فیلتر بدون بو کالمن منظم شده معرفی شده در بخش ۳,۲,۱,۲ می- باشند و از مقادیر p_{bit} فقط در هنگام وارد شده استفاده می‌کند. منظم سازی مذکور، هم در هنگامی که مقادیر p_{bit} در فرکانس 0.05 Hz به دست می‌آیند و هم در هنگام اتصال لوله‌ها، در صورتی که هیچکدام از آن‌ها به هیچ وجه وجود ندارند، استفاده می‌شود. شبیه سازی‌هایی بدون تخمین پارامتر، انطباق K_c و انطباق K_c ، θ_1 و ρ_a آورده شده‌اند.

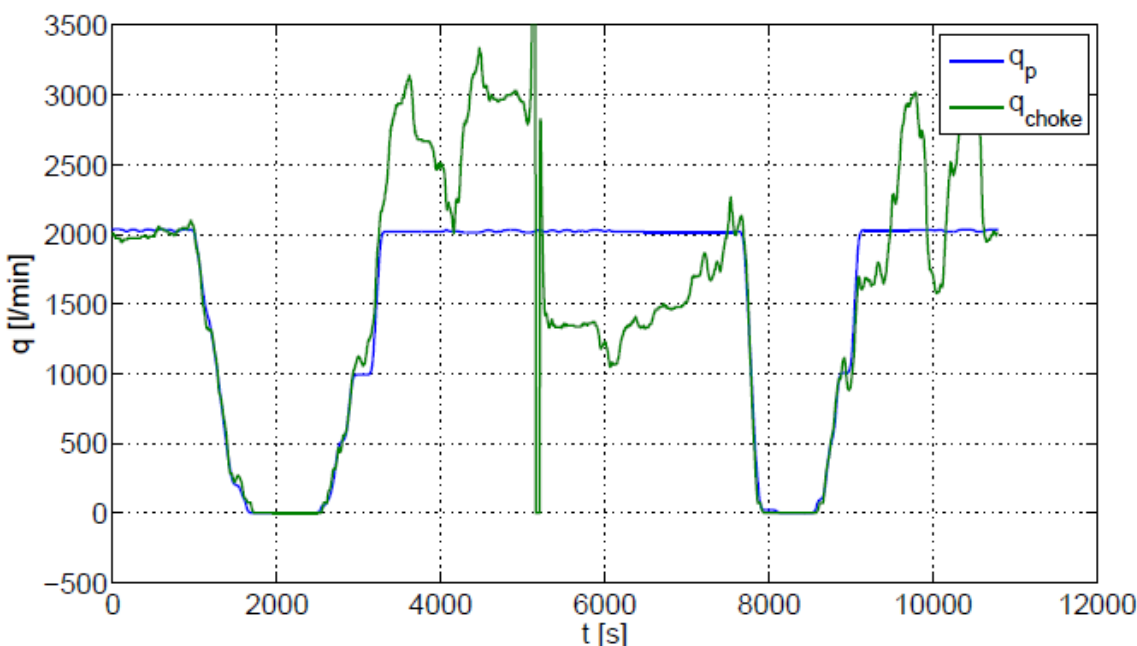
۴,۵,۱,۱ عدم انطباق

شبیه سازی‌های فیلتر بدون بو کالمن بدون هرگونه تطبیق پارامتر - یعنی UKF خالص - در شکل ۴,۱۲ آورده شده است. بلافاصله، کاملاً مشهود است که UKF بهتر از MHE عمل می‌کند (بازدهی دارد) (شکل ۴,۱۲) در هنگامی که هیچ پارامتری محاسبه نگردیده است. هر دو پارامتر \hat{p}_c و \hat{p}_p دقت بسیار بالایی دارند که به میزان زیادی \hat{p}_{bit} را اصلاح می‌کنند، در مقایسه با نتایج MHE آورده شده در بخش ۴,۳,۱. با بررسی بیشتر، شباهت‌هایی میان دو مشاهده‌گر مشاهده گردید. پرش در مقدار \hat{p}_{bit} در زمان تقریبی ۱۵۰۰ ثانیه در هر دو شبیه سازی با یکدیگر به صورت (اوج، قله) Peak تا قبل از زمان ۸۰۰۰ ثانیه مشاهده شده است. این خطاها بسیار شبیه به نتایج پدیده مدل نشده می‌باشند و بدون تطبیق پارامتر، تقریباً حذف آن‌ها غیر ممکن است.

در حین اتصال لوله‌ها، UKF خالص (بدون تطبیق)، با ثبات بیشتر در محاسبات، کمی بهتر از MHE خالص (بدون تطبیق) عمل کرد. کارایی کلی خوب است و برای آنالیزهای بیشتر امیدوار کننده است. دبی (جریان) Choke و پمپ (شکل ۴,۳) مربوط به UKF تفاوت قابل توجهی با جریان مربوط به MHE خالص نداشت. به هر حال، ارتباط میان خطای محاسباتی فشار Choke و پمپ از یک سو، و جریان Choke از سوی دیگر، برای UKF مشاهده نگردید. این امر به سادگی و به صورت زیر قابل تعریف است که UKF و MHE دو مشاهده‌گر متفاوت هستند، اما همچنین ممکن است که تنظیم کردن یک عامل قطعی بر این باشد که MHE نیاز به توجه (ملاحظه) نزدیکتری دارد.



شکل ۴،۱۲: UKF بدون انطباق: حالات و فشار ته چاهی اندازه‌گیری شده (خط ممتد، آبی)، تخمین‌ها (خط تیره، قرمز) و مقدار نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی)



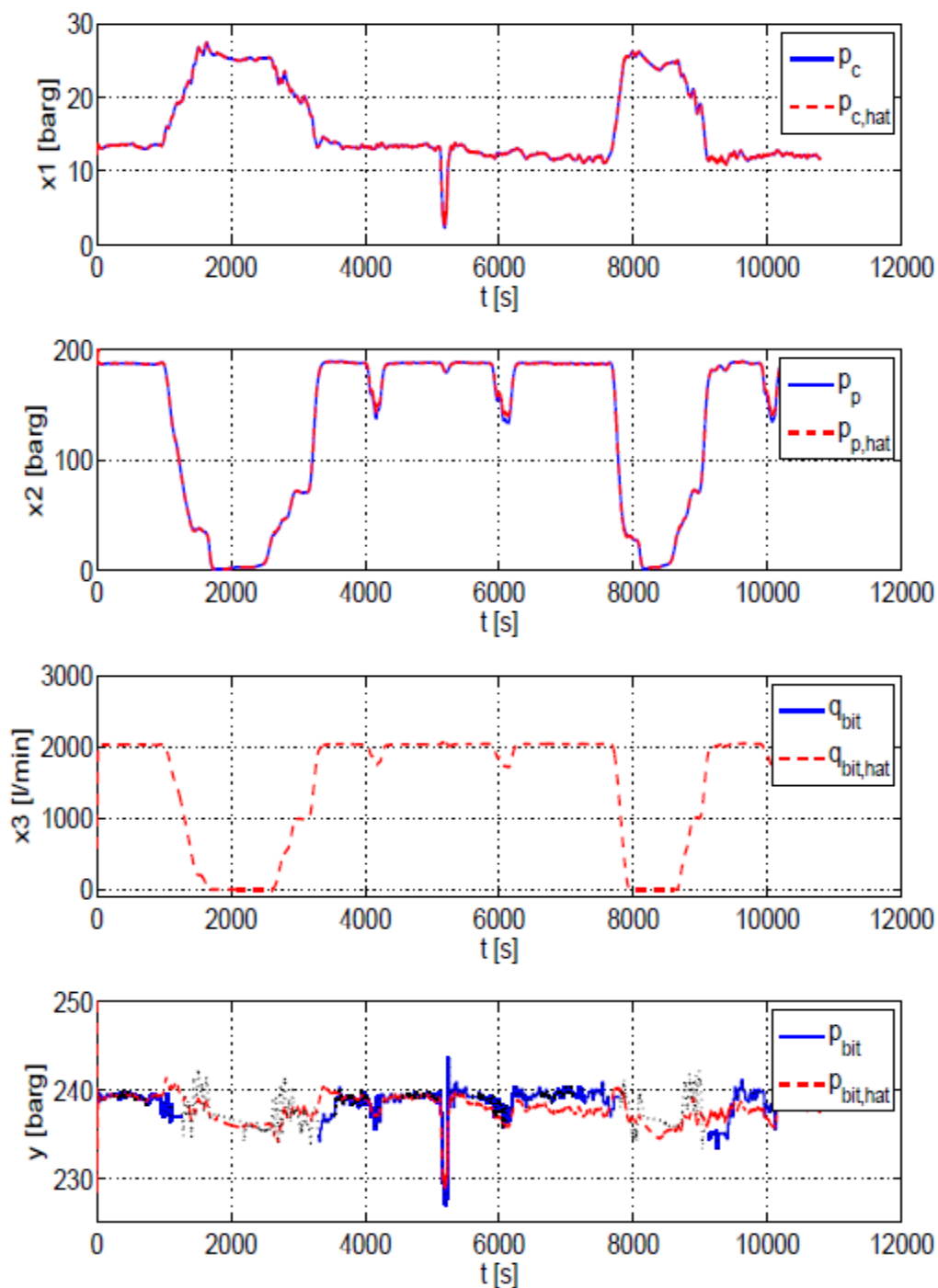
شکل ۴،۱۳: UKF بدون انطباق: حجم جریان در پمپ (خط ممتد، آبی) و حجم جریان در Choke (خط ممتد، سبز)

۴،۵،۱،۲ انطباق بهره وری جریان (K_c)

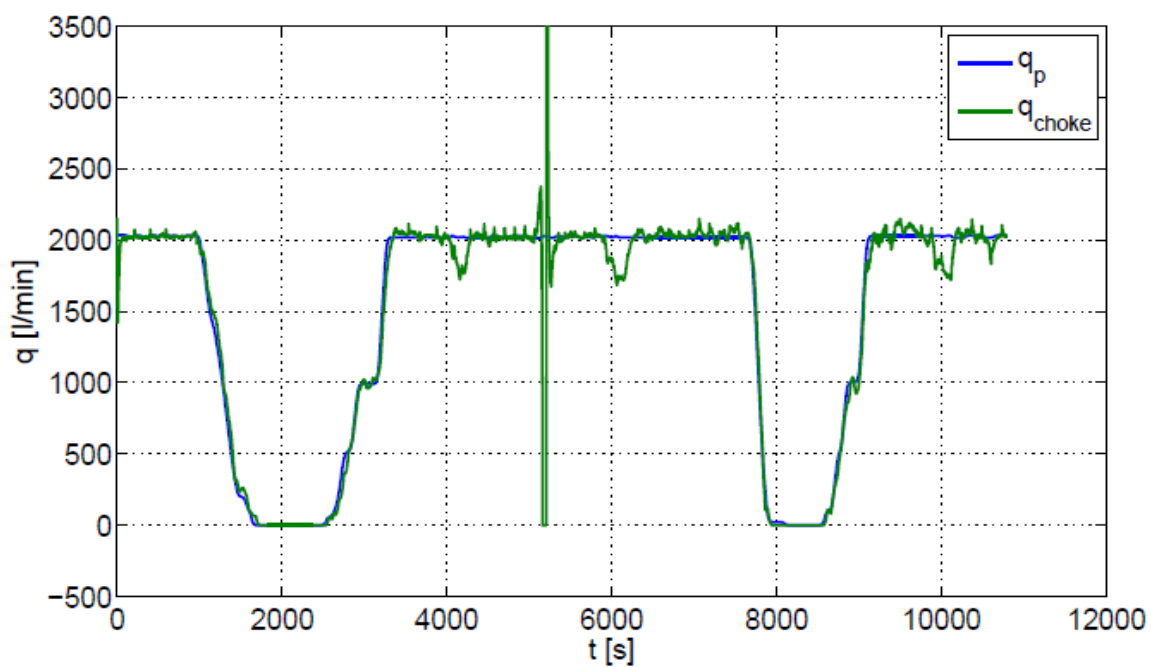
معرفی انطباق پارامتر راندمان UKF را به میزانی که راندمان MHE را افزایش داد، افزایش می‌دهد، اما همان طور که UKF قبلاً نسبتاً خوب عمل کرد، اصلاحات کم می‌باشند. مع ذلک هنوز هم تغییرات در بخش‌های کلیدی شبیه سازی - در حین اتصال لوله‌ها - مشاهده می‌شود. به طور ویژه، به طور تقریبی در زمان‌های 3000 s، 8000 s و 9000 s (شکل ۴،۱۴)، گراف محاسبات (تخمین‌ها) و گراف مقادیر اندازه-گیری شده برای p_{bit} توسط نمودارگیری بیشتر از بخش‌های قبلی به یکدیگر نزدیک هستند، همچنین همان طور که با مشاهده گر افقی متحرک انجام گردید، تطبیق بهره وری جریان (K_c)، جریان Choke را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد.

شکل ۴،۱۶ نشان می‌دهد که چگونه K_c با زمان تغییر می‌کند و شباهت آن با K_c محاسبه شده توسط MHE (شکل ۴،۵) عملاً مقایسه می‌گردد. به نظر می‌رسد که K_c با گذشت زمان کاهش می‌یابد، که نشانه آن رسوب کردن در Choke می‌باشد. این امر پس از رفع گرفتگی Choke در زمان تقریبی 5200 s، که Choke برای یک بازه زمانی کوتاه، به طور کامل باز شد، رفع می‌شود، مقادیر به طور نسبتاً زیادی افزایش

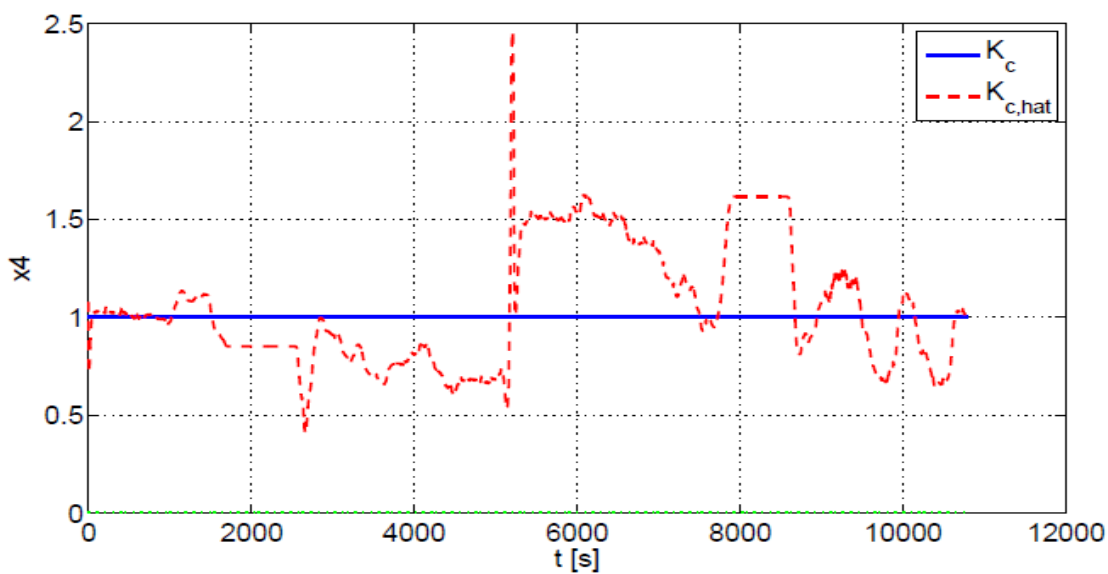
می‌یابند، قبل از این که به تدریج دوباره کاهش یابند. این یک برنامه مدل نشده است که ظاهراً K_c نیز شامل این محاسبات می‌شود.



شکل ۴،۱۴: UKF با انطباق K_c : حالات و فشار ته چاهی محاسبه شده (خط ممتد، آبی)، محاسبات (خط تیره، قرمز) و مقادیر نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی)



شکل ۴،۱۵: UKF با انطباق K_c : حجم جریان در پمپ (خط ممتد، آبی) و حجم جریان در Choke (خط ممتد، سبز)

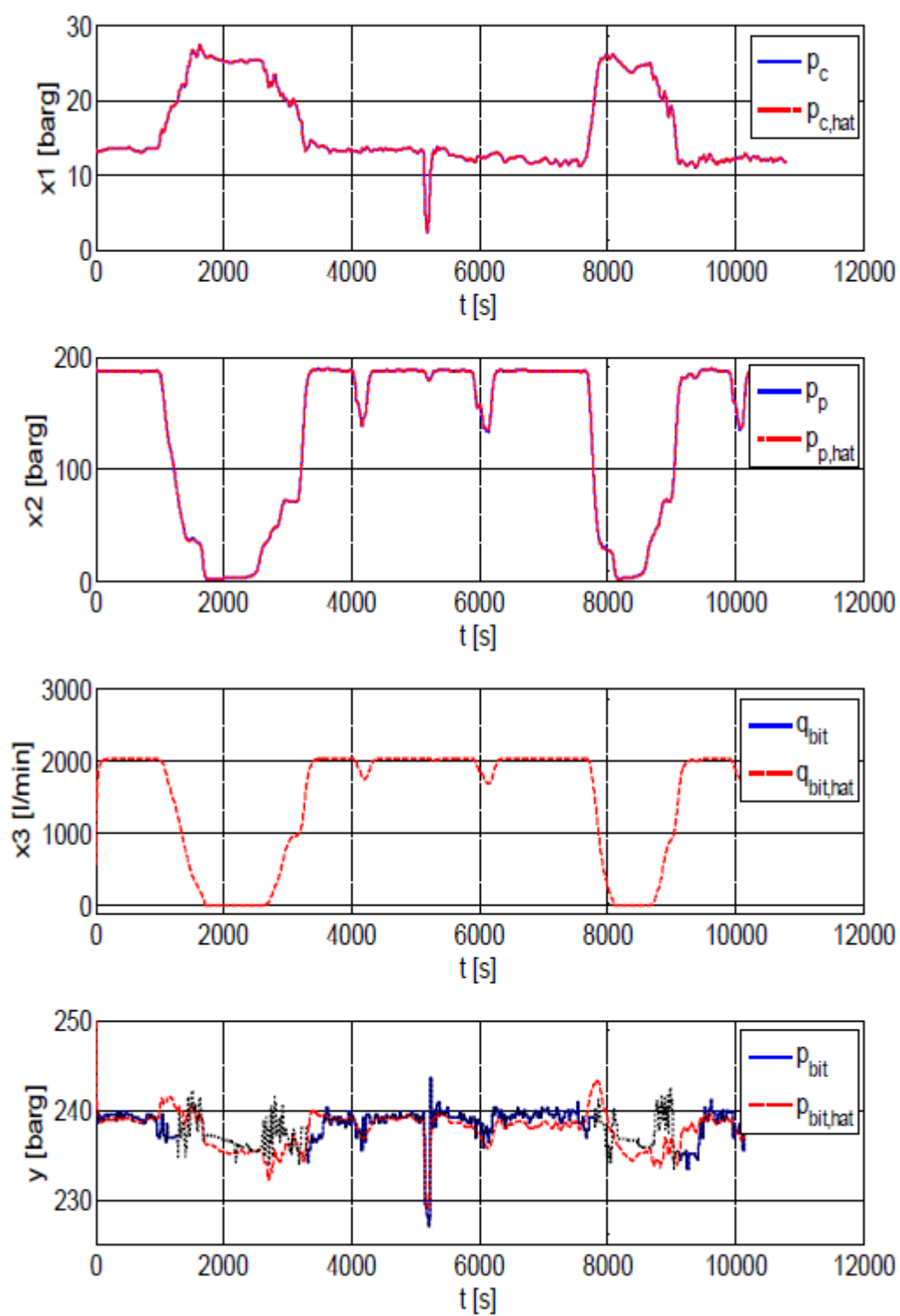


شکل ۴،۱۶: UKF با انطباق K_c : K_c انطباقی (خط تیره، قرمز) و K_c تنظیم شده به صورت Offline (خط ممتد، آبی)

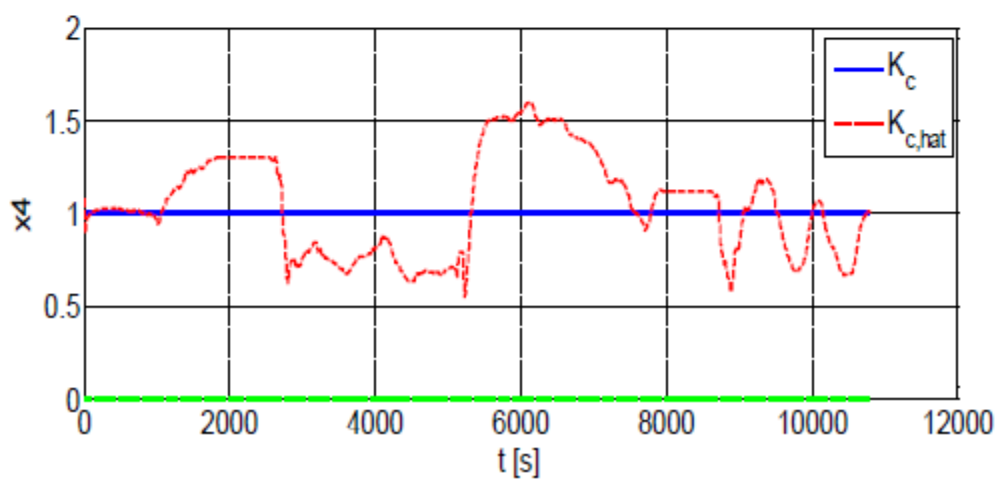
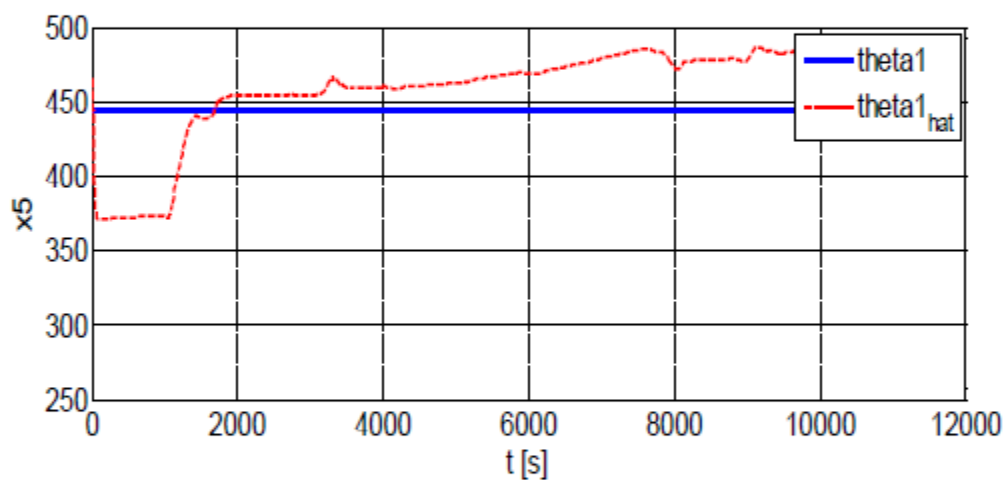
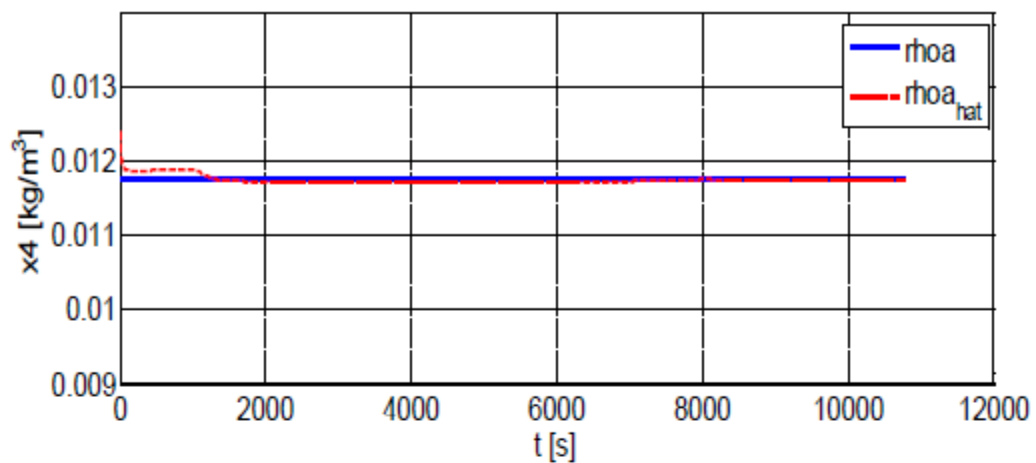
۴,۵,۱,۳ انطباق بهره وری جریان (K_c)، دانسیته آنالوس (ρ_a) و ضریب اصطکاک آنالوس (θ_1)

بخش ۴,۲ در مورد تأثیرات احتمالی ای است که ممکن است در نتیجه افزایش مقدار عددی محاسبات، با توجه به مشاهدات بروز کند، بحث کرد. با بررسی شکل ۴,۱۷، نتایج این بخش نگرانی ویژه‌ای ایجاد می‌کند. متأسفانه، راندمان افزایش نیافته، اما کم و بیش پایدار است. مع ذلک هنوز هم محاسبات p_c و p_p به طور مؤثری دقیق هستند، در حالی که \hat{p}_{bit} همانند قبل، همان خطاها را تقریباً در همان مکان‌ها داشت. به هر حال، خرسند کننده است که مشاهده می‌شود که تطبیق پارامتر همچنان بر روی UKF نیز به خوبی کار می‌کند. از پارامترها (شکل ۴,۱۸) می‌توان مقداری مشاهدات کلیدی داشت:

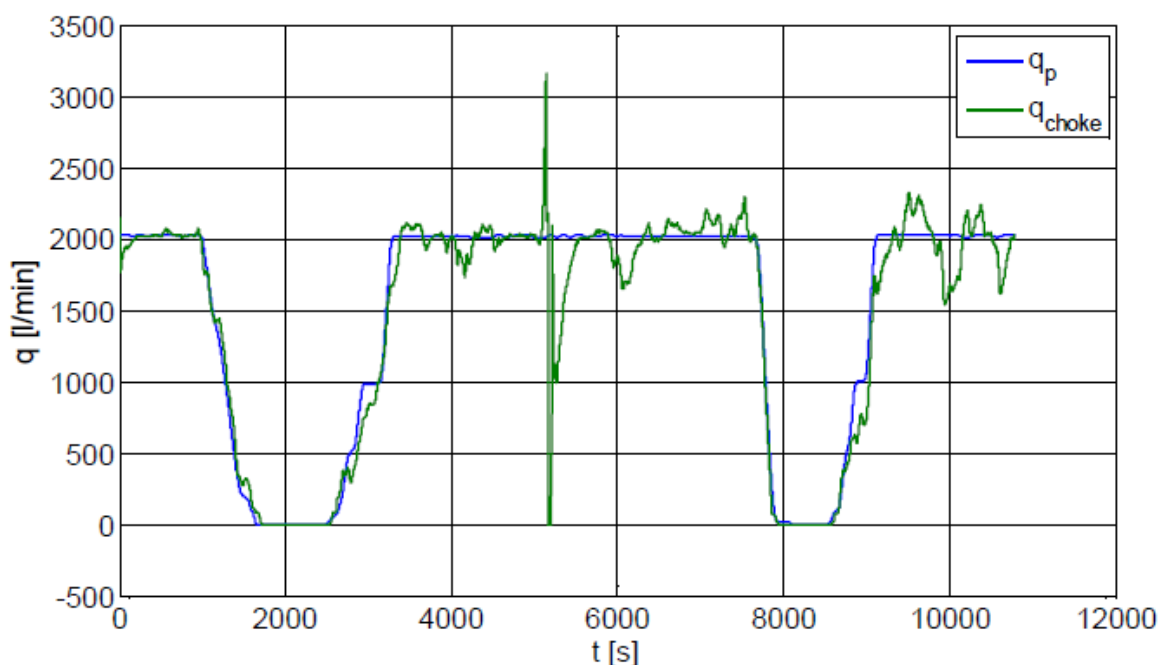
ابتدا، ρ_a در کل به سختی تغییر می‌کند، غالباً به دلیل تنظیمی که مشتق آن را جریمه می‌کند. این امر به دلیل تغییر آزادانه بیشتر $\hat{\rho}_a$ ، محاسبه p_{bit} را رو به وخامت گذاشته است، انجام گردید، احتمالاً به عنوان نتیجه‌ای از رؤیت موضوعات مورد بحث در بخش ۴,۲ می‌باشد. دوّمأً، ضریب اصطکاک محاسبه شده، پس از یک پرش اولیه در حین اتصال لوله‌ها، در تمام شبیه سازی به تدریج افزایش می‌یابد. این پرش را به این صورت می‌توان تشریح کرد که هیچ تغییر قابل توجهی چه در ورودی و چه در خروجی، قبل از این نقطه مشاهده نمی‌گردد و همچنین رؤیت با افزایش تحریک افزایش می‌یابد. افزایش تدریجی محاسبات ممکن است به تغییرات در حجم مربوط شود (\dot{V}_a)، همان طور که حفاری با بالاترین حجم ادامه می‌یابد، بر وجود مسیرهای طولانی‌تر چرخش گل دلالت دارد که این امر به نوبه خود بر اصطکاک بیشتر در سیستم دلالت دارد. در آخر، محاسبه K_c با بخش قبلی تفاوت دارد. به هر حال، همان گرایش با کاهش مقدار در قبل و بعد از عدم انسداد Choke مشاهده گردید، جریان Choke (شکل ۴,۱۹) مشابه آن چه در بخش‌های قبلی مشاهده گردید، می‌باشد.



شکل ۴، ۱۷: UKF با انطباق شاخص بهره وری جریان K_c ، ρ_a ، θ_1 : حالات اندازه‌گیری شده و فشار ته چاهی (خط ممتد، آبی)، محاسبات (خط تیره، قرمز)، مقادیر نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی)



شکل ۴، ۱۸: UKF با انطباقی شاخص بهره وری جریان K_c ، ρ_a ، θ_1 : پارامترهای محاسبه شده (خط ممند، آبی)، حجم جریان در Choke (خط ممند، سبز)



شکل ۴،۱۹: UKF با انطباق شاخص بهره وری جریان θ_1 , ρ_a , K_c : حجم جریان در پمپ (خط ممتد، آبی)، حجم جریان در Choke (خط ممتد، سبز)

۴،۵،۲ استفاده از آخرین مقادیر در دسترس

با این دلیل که فیلتر بدون بو کالمن (UKF) به میزان بسیار زیادی به مقادیر استوار بستگی دارد، حل با پیچیدگی کمتر برای ادامه فیلتر با آخرین مقادیر در دسترس، همان طور که در بخش ۳،۲،۱،۱ شرح داده شده می‌باشد. شبیه سازی این پروژه به روش ویژه به ظاهر بهترین نتایج را برای مشاهده گر به دست می‌دهد، اما با کاوش بیشتر این یک بیانیه اصلاحی می‌باشد. به هر صورت، این امر احتمالات را برای تنظیمات متناوب که در این بخش مورد بحث قرار خواهند گرفت باز می‌کند.

۴،۵،۲،۱ بدون تطبیق

شکل‌های ۴،۲۰ و ۴،۲۱ نشان می‌دهند که چگونه تخمین، اندازه‌گیری p_{bit} را با دقت بسیار بالا دنبال می‌کند. این امر به طور شفاف نشان می‌دهد که چقدر خوب UKF با مقادیر استوار و یک مدل شایسته

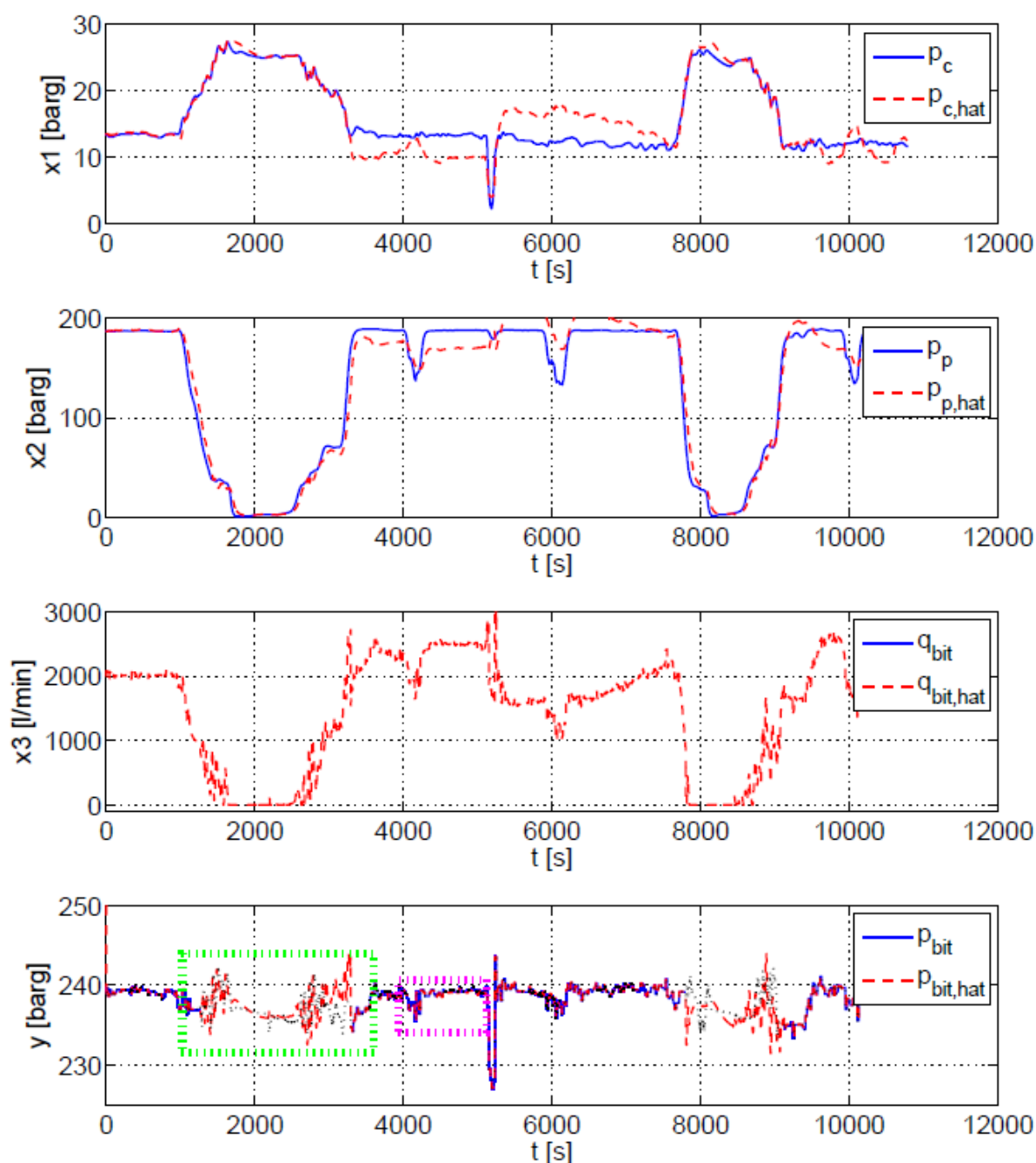
کارایی دارد. به هر حال، به واسطهٔ آزمودن محاسبات و مقادیر p_{bit} نزدیکتر (شکل ۴،۲۱) و به یاد آوردن فرکانس به روز رسانی آخر، مشهود می‌شود که بیشتر دینامیک‌ها در بازهٔ زمانی 20s میان رسیدن مقادیر جدید، از دست می‌روند. همچنین کارایی اصلی بدتر شده مشاهده شده در محاسبات حالت، اعتبار مشاهده‌گر را ضعیف می‌کند. راندمان ضعیف در \hat{p}_c و \hat{p}_p بسیار مشابه آن چه در مشاهده‌گر افقی متحرک بدون هیچگونه تطبیق پارامتر می‌باشد، در حالی که محاسبهٔ q_{bit} به واسطهٔ تغییرات و نوسانات سریع آن، بسیار متفاوت از هر آن چه در دیگر شبیه سازی‌ها شد می‌باشد.

شکل ۴،۲۳ نشان می‌دهد که در حین اتصال لوله‌ها، مشاهده‌گر نتایج منحصر به فردی را به دست می‌دهد. هیچ کدام از محاسبات به خوبی تنظیم شده دیگر آورده شده در این پایان نامه توانایی مدیریت برای گرفتن دینامیک نوسانات اتصال لوله‌ها را به این دقت نداشته است. اگر نتایج مشابه برای مشاهده‌گر‌های قبلی خواسته شده بود، در آن صورت نیازمند تنظیمی بود که کارایی را در هزینهٔ دقت در حالی که اجزای دیگر شبیه سازی از اهمیت چندانی برخوردار نیستند، افزایش دهد. به هر حال، نتایج شامل شده، از آن جایی که به شفافیت آن پدیده را در حین اتصال لوله‌ها نشان می‌دهند، لذا به راحتی می‌توانند با یک مدل ساده باز تولید شوند.

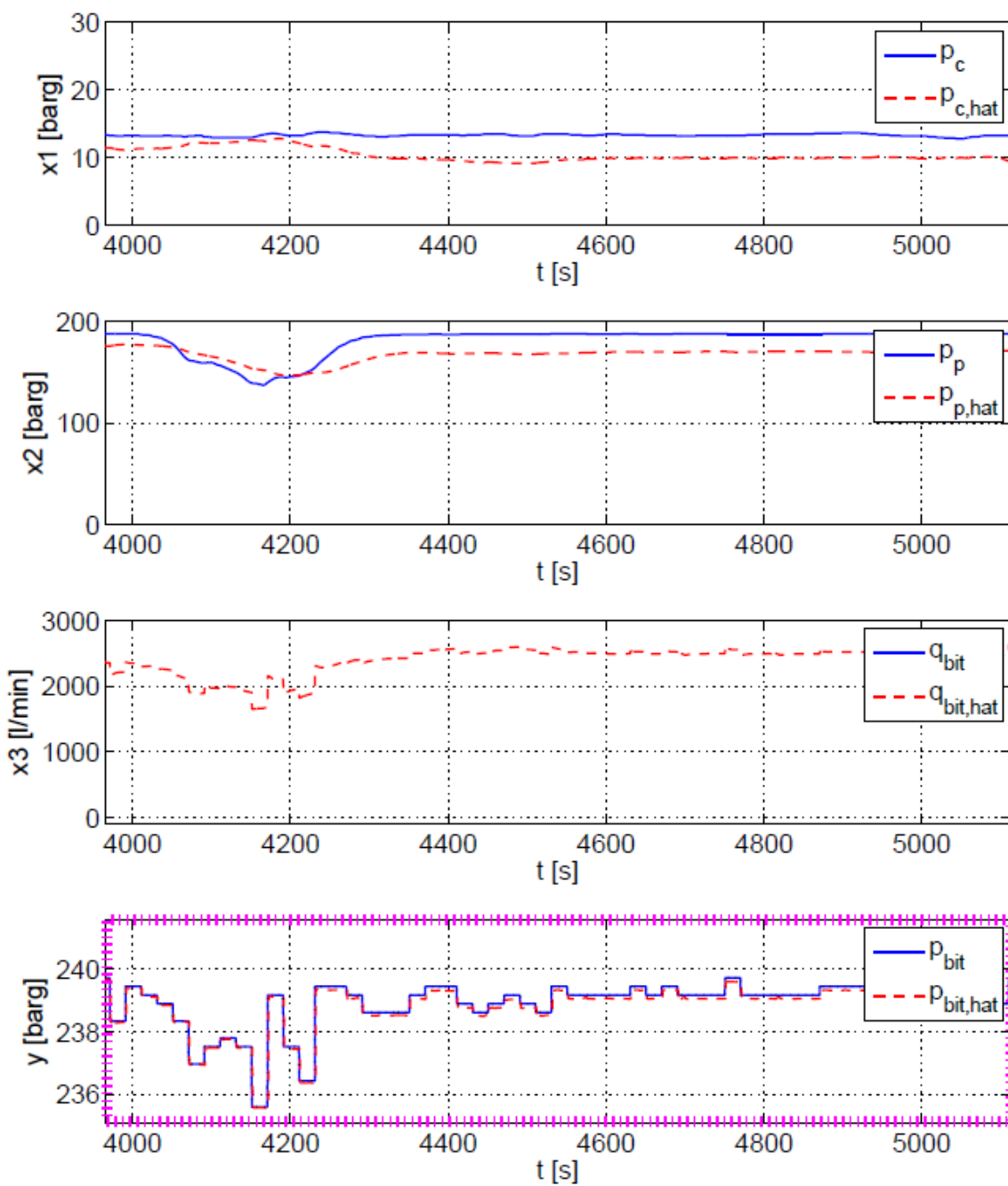
به طور خاص تر، نسبت میان کوواریانس‌های نویز فرآیند و نویز اندازه‌گیری به طور چشمگیری و به بزرگی بیش از 10^5 با عدم قطعیت بالا اعمال شده بر روی مدل، تغییر می‌کند. از این جهت که یک مقدار برای p_{bit} در تمام زمان‌ها در دسترس است، لذا ظاهراً به نظر می‌رسد که اطلاعات زیادی در سیستم وجود دارد که سبب می‌شود محاسبهٔ p_{bit} در یک عملیات حفاری مستمر (بدون اتصال لوله) از کنترل خارج نشود. بنابراین زمینه برای اعتماد بیشتر به مدل مهیا می‌شود، در هنگامی که این مقدار ویژه در دسترس نیست، به \hat{q}_{bit} اجازه داده می‌شود که با آزادی بیشتری تغییر کند.

طرف انتهایی اتصال لوله، محاسبه به نظر می‌رسد که بی اراده به سوی مقادیر بالاتر می‌رود، که توضیح آن به طور مستقیم سخت می‌باشد. به هر حال، از آن جایی که این پدیده فقط در این بخش ویژه به نظر می‌رسد، باید از اتصال آن به وابستگی مدل افزایش یافته اطمینان حاصل کنیم. Landet [14]، یک پدیدهٔ مشابه را که در آن هیچ افزایش فشار سریعی در p_p بعد از این که جریان در پمپ پس از یک برههٔ زمانی با جریان صفر به راه می‌افتد مشاهده نمی‌شود را توصیف می‌کند. برای نتیجهٔ ویژه در این بخش، این استدلال ویژه به دلیل این که فشار پمپ محاسبه شده در واقع کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده می‌باشد، قابل استفاده نخواهد بود. به هر حال، انتظار می‌رود که انحراف در \hat{p}_{hat} به برخی از خطاهای مدل مرتبط با شروع جریان از صفر منسوب می‌شود.

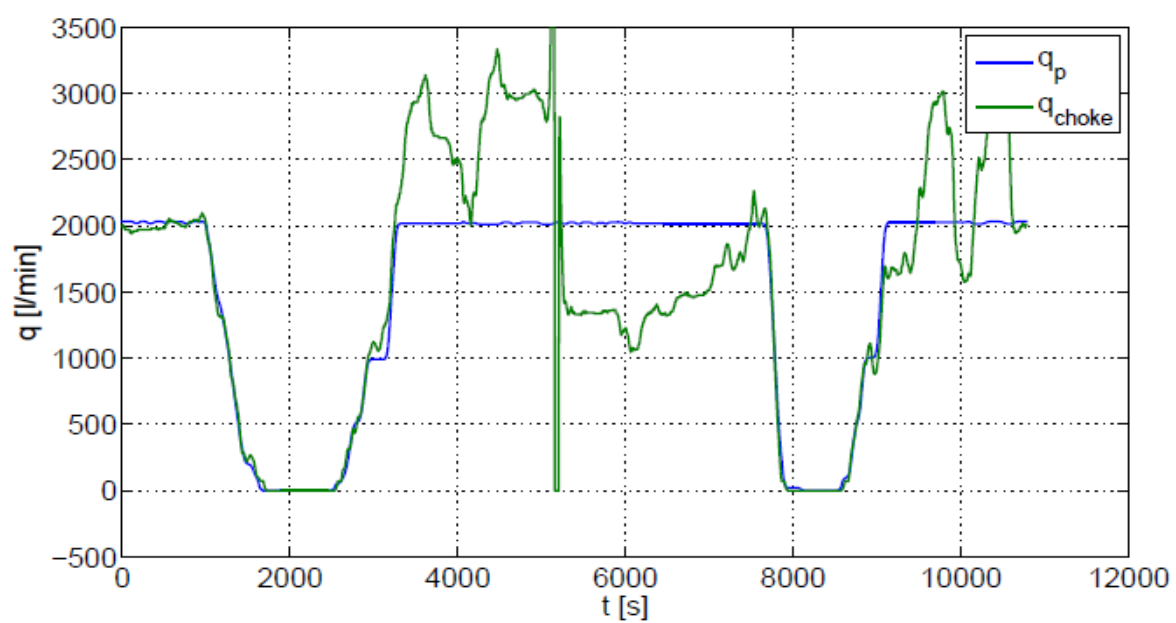
این بخش فقط شامل قسمت قابل توجه نتایج می‌شود و نه بیشتر. فیلتر به روشی که می‌تواند منجر به ایجاد عدم باور به روش‌های دیگر حقاری در هنگامی که p_{bit} ممکن است p_{bit} حتی برای بازه های زمانی طولانی تر غایب باشد به اجرا درآید و کارآیی اصلی اعتبار مشاهده گر را افزایش نمی‌دهد.



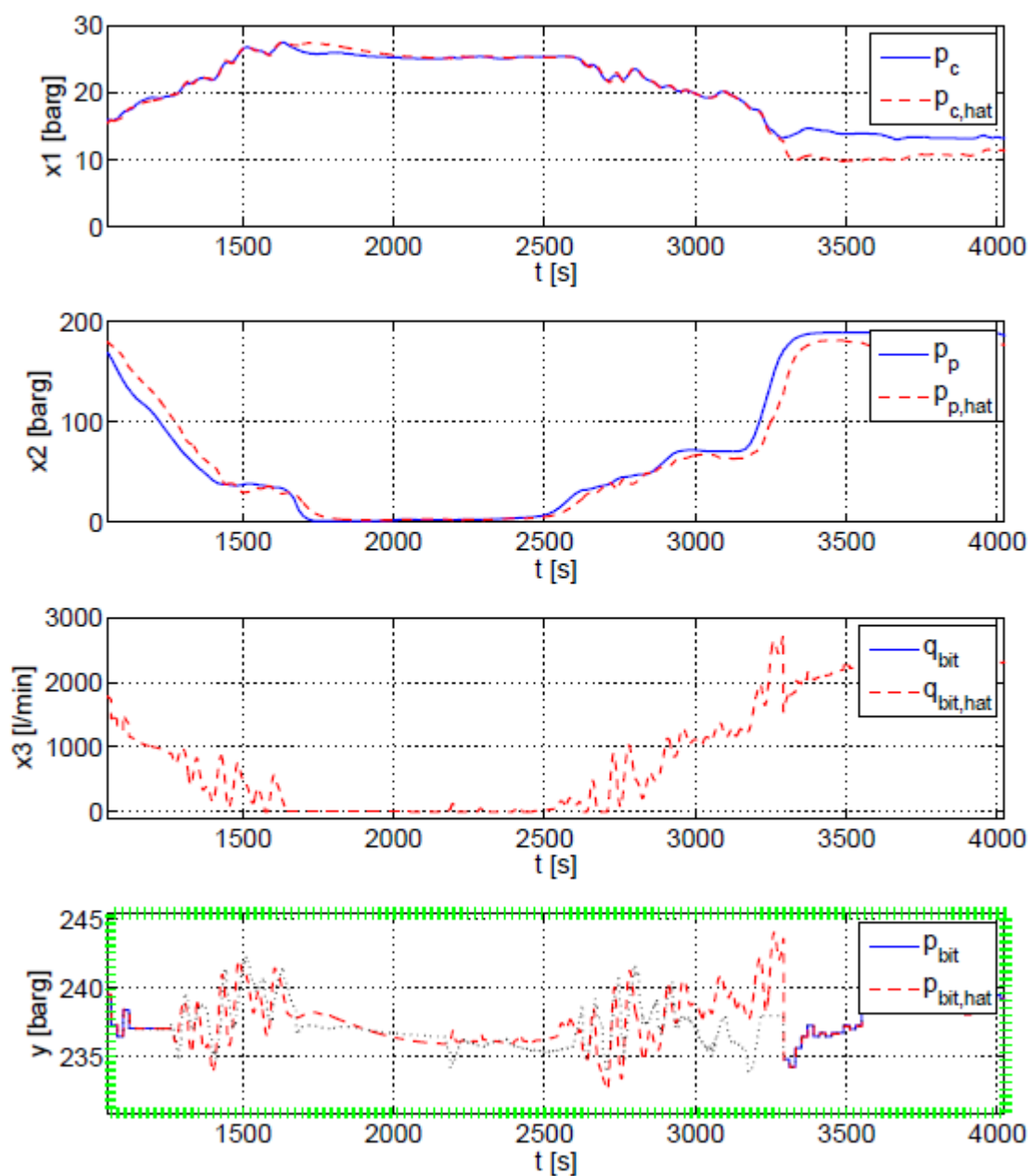
شکل ۴،۲۰: UKF بدون انطباق و با استفاده از آخرین مقادیر: حالات اندازه‌گیری شده و فشار ته چاهی (خط ممتد، آبی)، محاسبات (خط تیره، قرمز)، مقادیر نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی)



شکل ۴،۲۱: UKF بدون انطباق و با استفاده از آخرین مقادیر: حالات اندازه‌گیری شده و فشار ته چاهی (خط ممتد، آبی)، محاسبات (خط تیره، قرمز)



شکل ۴،۲۲: UKF بدون انطباق و با استفاده از آخرین مقادیر: حجم جریان در پمپ (خط ممتد، آبی)، حجم جریان در Choke (خط ممتد، سبز)



شکل ۴،۲۳: UKF بدون انطباق و با استفاده از آخرین مقادیر: حالات اندازه‌گیری شده و فشار ته چاهی (خط ممتد، آبی)، محاسبات (خط تیره، قرمز)، مقادیر نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی)

۴,۶ ترکیب مشاهده گرها

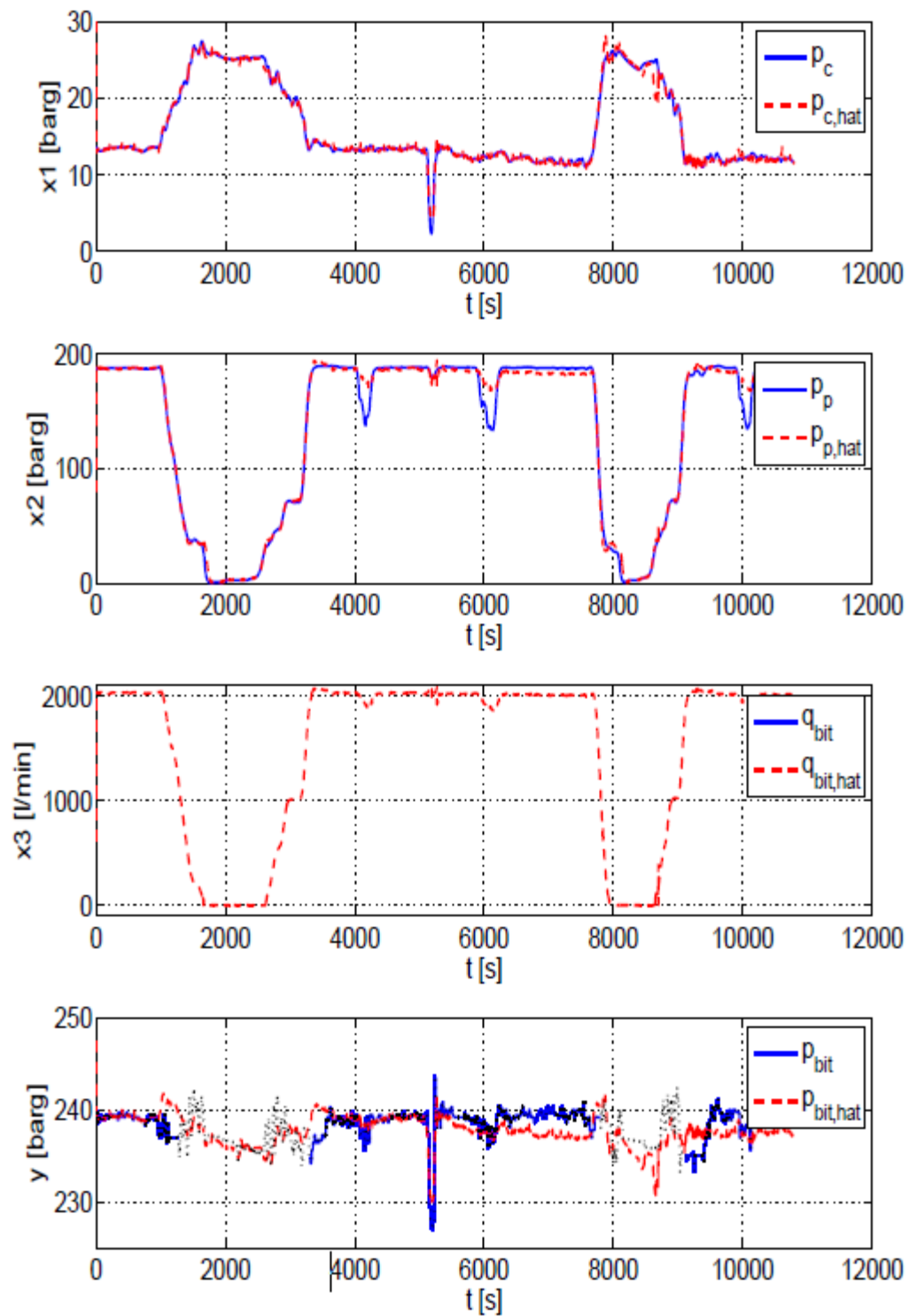
برای مشاهده این که آیا ترکیبات متفاوت دو مشاهده گر می تواند تأثیر مثبتی بر محاسبه p_{bit} داشته باشد یا خیر، باید شبیه سازی های بیشتری انجام گیرد. ابتدا، به جای محاسبه \bar{x}_{t-N} با انتشار شباهت ظاهری، پیش فیلتر کردن مورد استفاده قرار می گیرد. دوماً، کوواریانس محاسبه شده با UKF در حین پیش فیلتر کردن به عنوان ماتریس خطای وزنی حالت در MHE مورد استفاده قرار می گیرد. در آخر، UKF به دو روش متفاوت در کنار محاسبات مشاهده گر افقی متحرک به عنوان یک راه برای مدل کردن فرآیند و نویز اندازه گیری مورد استفاده قرار می گیرد.

۴,۶,۱ پیش فیلتر با UKF در MHE

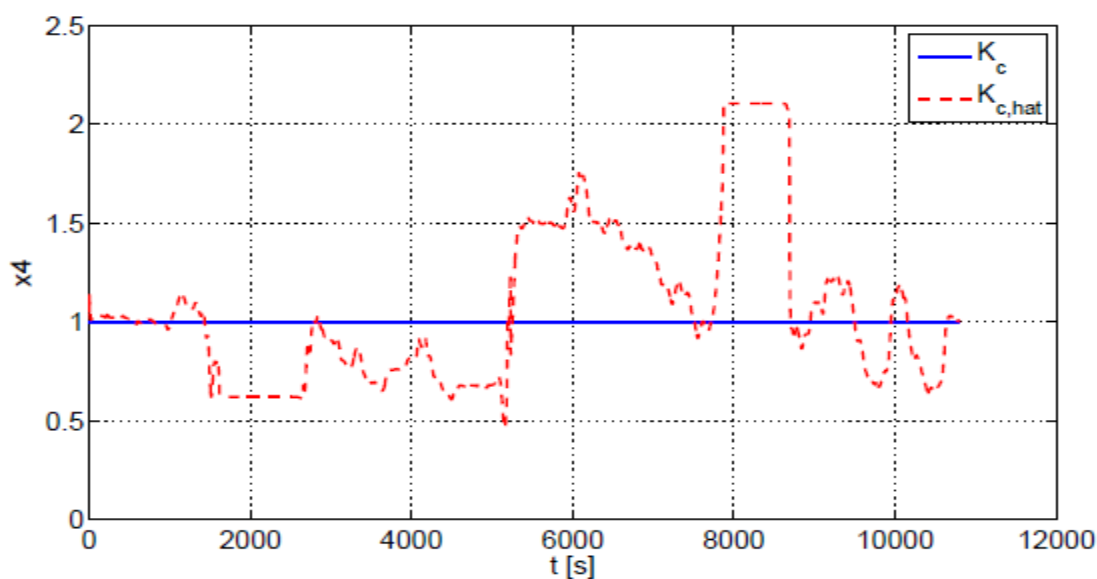
متأسفانه تمام پیش بینی های صورت گرفته در بخش ۳,۳,۱ توسط نتایج موجود در این فصل تأیید نشده اند. بررسی شکل ۴,۲۴ یک شبیه سازی بسیار شبیه به آن چه قبلاً مشاهده شد را نشان می دهد و در مقایسه آن با شکل ۴,۴ مشکل است که اصلاحات شدیدی را در محاسبه p_{bit} کشف کنیم. کارایی کلی ممکن است حتی کمی بدتر شود، اما این امر می تواند تنظیم ضعیف را برساند.

تنها بهبود قابل توجه در \hat{p}_p و \hat{p}_c از ۱۸۰۰-۲۵۰۰ ثانیه که تنها \hat{p}_{bit} را مقداری اصلاح می کند رخ می دهد، اما مسئولیت استفاده از مشاهده گر را بالا می برد. ممکن است که در هنگام جریان صفر در q_{bit} ، روش پیش فیلتر کردن، مشکل بهینه سازی را با \bar{x}_{t-N} که اختلاف ایجاد می کند را حل کند، که این حل میسر تر است.

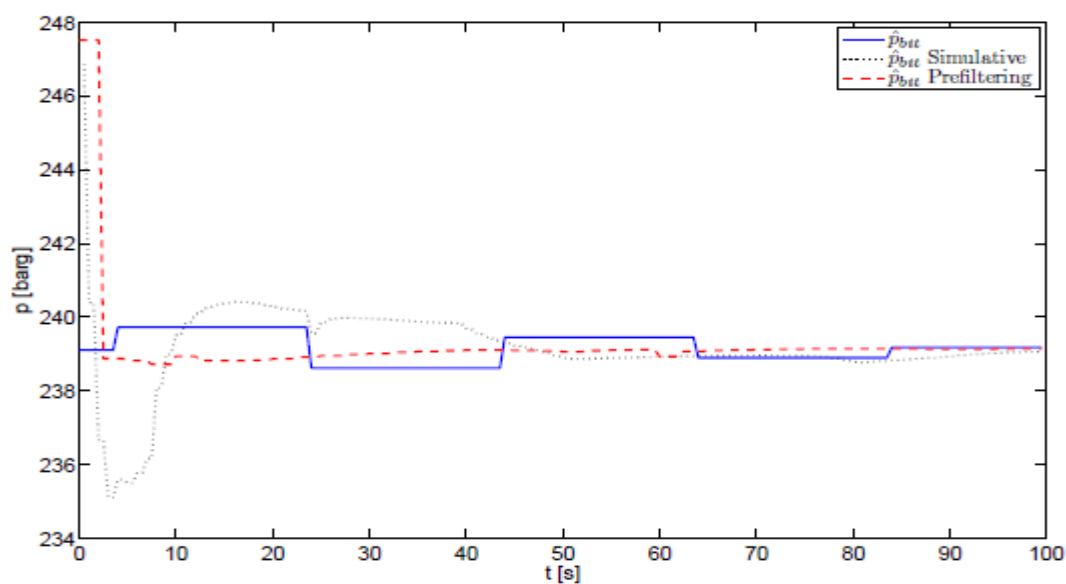
به هر حال، با بازبینی نزدیک تر، یک اصلاح قابل توجه کشف می گردد. شکل ۴,۲۶ ۱۰۰ ثانیه ابتدایی سناریوی شبیه سازی را که در این پایان نامه به کار رفته نمایش داده است و به شفافیت نشان می دهد که پیش فیلتر کردن منجر به این می شود که محاسبه p_{bit} به سرعت نزدیک می شود. در نتیجه ممکن است که پیش فیلتر منجر به این شود که مشاهده گر افقی متحرک در مقابل تغییرات قوی تر باشد و تغییرات ناگهانی همان طور که می تواند به یک ناحیه مقادیر صحیح فشار، دوباره به سرعت نزدیک گردد. این مشاهده همچنین برای محاسبات دیگر نیز انجام پذیرفت که در شکل ۴,۲۶ آمده اند. محاسبه K_c تقریباً بدون تغییرات باقی می ماند (شکل ۴,۲۵).



شکل ۴،۲۴: MHE با پیش فیلتر کردن و تطبیق شاخص بهره وری جریان (K_c): حالات اندازه‌گیری شده و فشار ته چاهی (خط ممتد، آبی)، محاسبات (خط تیره، قرمز) و مقادیر نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی)



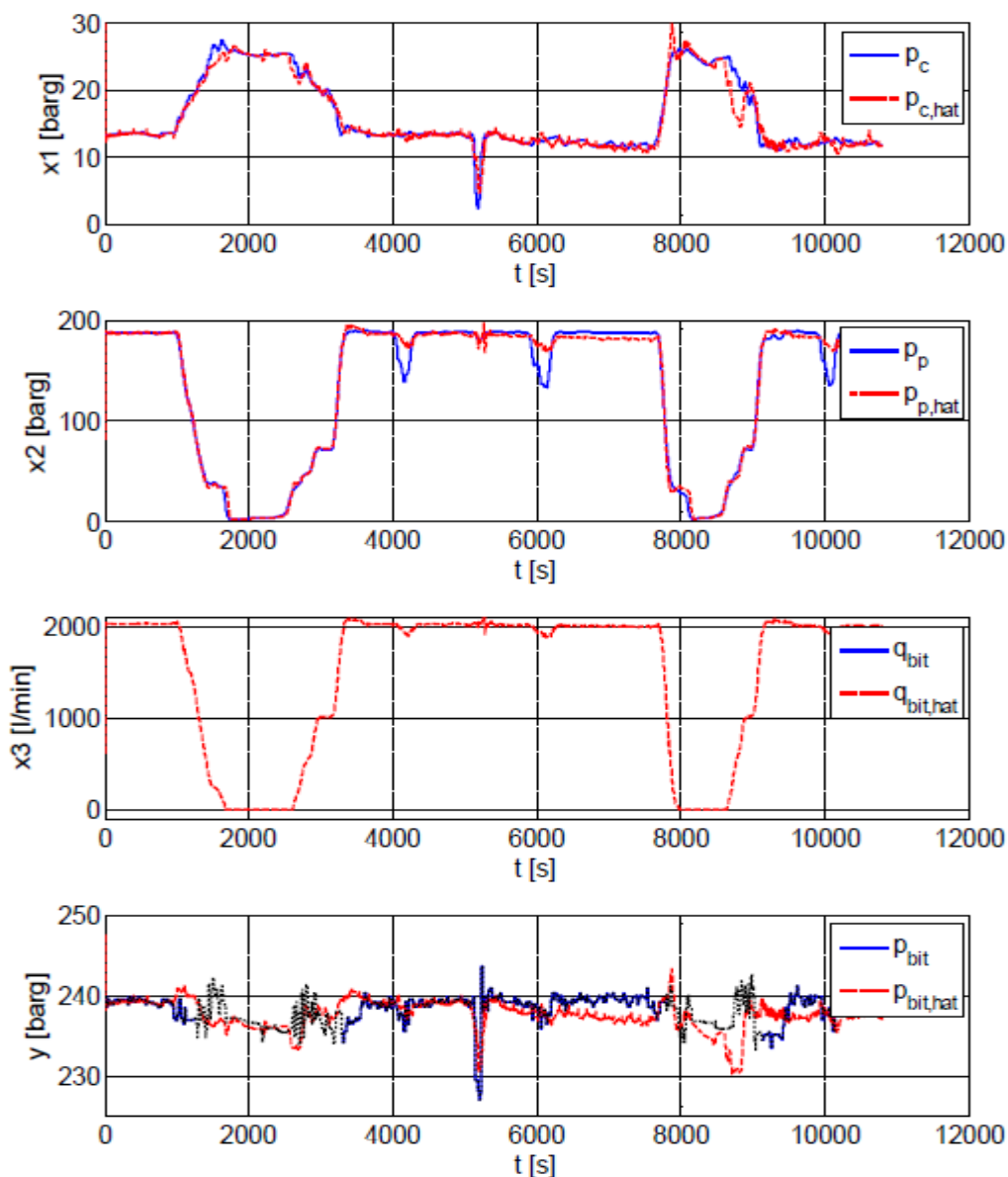
شکل ۴,۲۵: MHE با پیش فیلتر کردن و تطبیق شاخص بهره وری جریان (K_c) : تطبیق داده شده (خط تیره، قرمز) و K_c تنظیم شده به صورت Offline (خط ممتد، آبی)



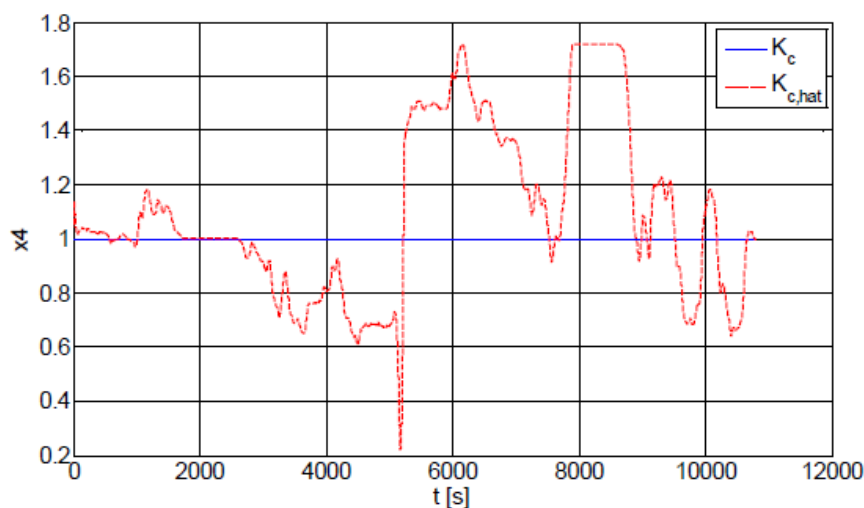
شکل ۴,۲۶: MHE با پیش فیلتر کردن و تطبیق شاخص بهره وری جریان (K_c) : فشار ته چاهی محاسبه شده (خط ممتد، آبی)، محاسبه با استفاده از پیش فیلتر کردن \bar{x}_{t-N} (خط تیره، قرمز)، محاسبه با استفاده از انتشار شبیه سازی شده (خط چین، مشکی)

۴,۶,۲ استفاده از اطلاعات کوواریانس

وزن پیشنهاد داده شده در بخش ۳,۳,۲ به این دلیل که پیش فیلتر کردن قبلاً در این کد انجام شده، اجرای آن آسان است. به هر حال، نتایج به این دلیل که اندازه‌گیری‌ها در هیچ نقطه‌ای از شبیه‌سازی اصلاح نگردید، نا امید کننده می‌باشند. در واقع کارایی به طور کلی بدتر شده، همانطور که در مقایسه با MHE اولیه که در بخش ۴,۳,۲ (شکل ۴,۴) آمده مشاهده گردید.



شکل ۴,۲۷: MHE با پیش فیلتر کردن و وزن دادن کوواریانس و به همراه تطبیق شاخص بهره وری جریان K_c : حالات اندازه‌گیری شده و فشار ته چاهی (خط ممتد، آبی)، محاسبات (خط تیره، قرمز)، مقادیر نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی).

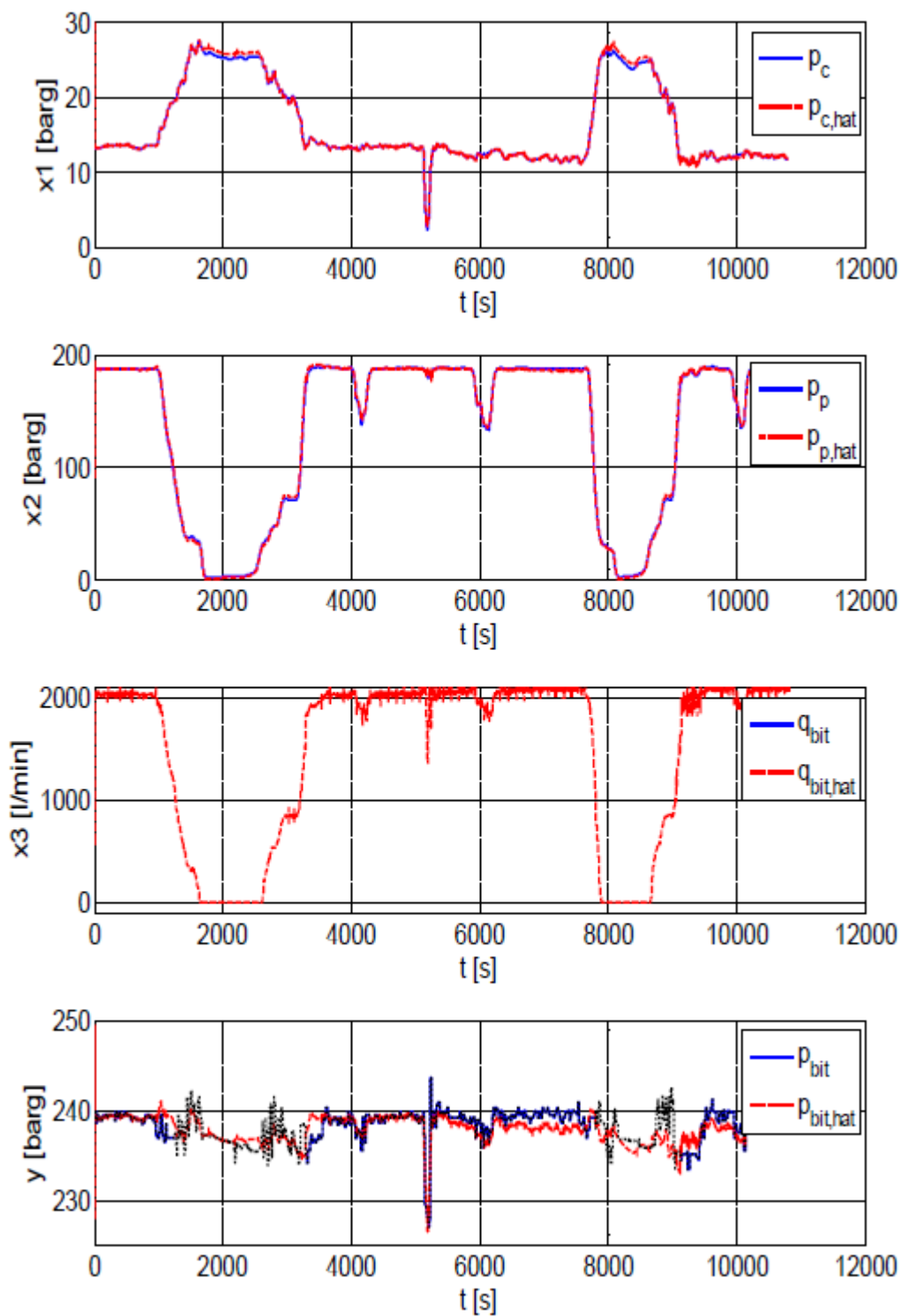


شکل ۴,۲۸: MHE با پیش فیلتر کردن و وزن دادن کوواریانس و به همراه تطبیق شاخص بهره وری جریان K_c : تطبیق داده شده (خط تیره، قرمز) و K_c تنظیم شده به صورت Offline (خط ممتد، آبی)

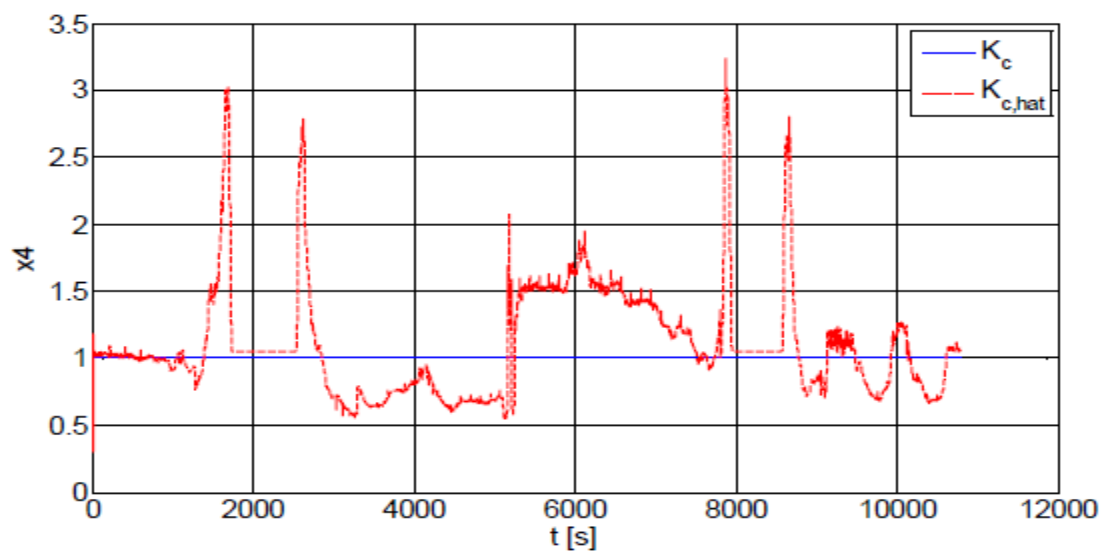
۴,۶,۳ UKF در MHE

یکپارچه سازی کامل فیلتر بدون بو کالمن در مشاهده گر افقی متحرک همان گونه که در بخش ۳,۳,۳ مورد مناقشه قرار گرفت، پیچیده ترین ترکیب دو مشاهده گر تا کنون می باشد که هنگام شبیه سازی منعکس گردیده است (یک تحلیل پیچیدگی زمانی در بخش ۴,۷ آورده شده است. متأسفانه، ارتباط کوچکی میان کارایی و پیچیدگی زمانی می باشد و نتایج هنوز زیاد قابل تشخیص از نتایج قبلی نمی باشند، که نسبتاً کارایی مناسبی در هنگام اتصال لوله ها و دقت رضایت بخشی در جاهای دیگر دارد، اما اندکی رفتار نوسانی کلی بیشتر مشاهده گردید. همان گونه که به طور مختصر مأموریت در پروژه بحث گردید، رسیدن به یک آستانه برای این که به چه خوبی MHE یا هر مشاهده گر دیگری می تواند بر اساس مدل ساده "Kaasa" کار کند، بسیار دلپسند بوده و برخی روش های جدید و مختلف که در این پایان نامه کاوش گردیدند سوءظن ما را تقویت می کنند.

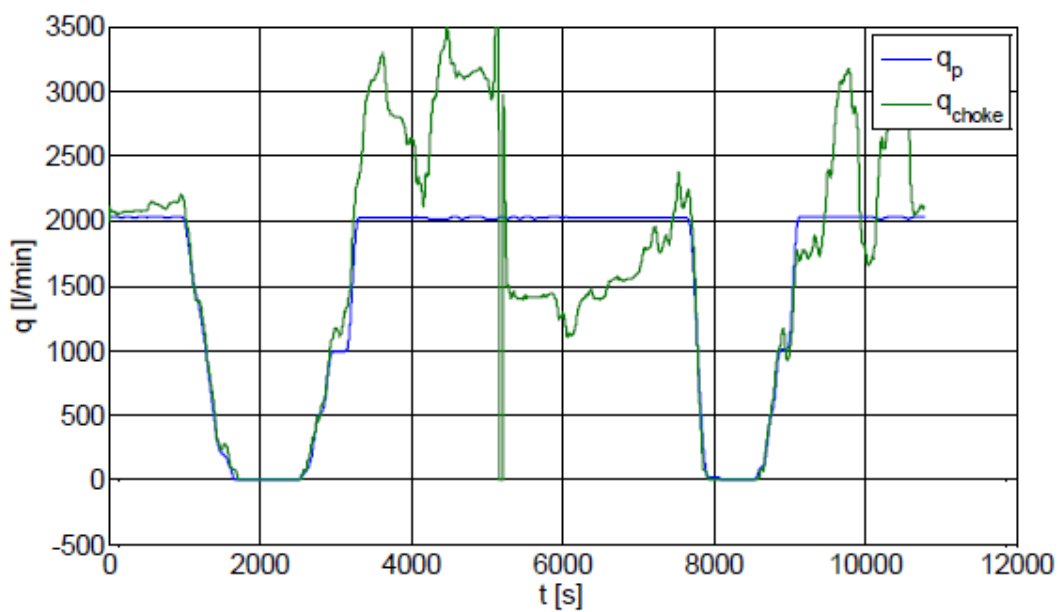
محاسبه K_c به نظر می رسد که بسیار بیشتر از قبل تغییر می کند، اما این می تواند یک موضوع تنظیم باشد. به عنوان نتیجه ای از شبیه سازی طولانی مدت برای این روش ویژه، تنظیم دقیق کاهش داده شده است. همچنین جالب توجه است که برای این ترکیب، جریان Choke (شکل ۴,۳۱) مانند این که K_c محاسبه نشده باشد عمل می کند.



شکل ۴،۲۹: MHE ترکیب شده با UKF، همراه با تطبیق شاخص بهره وری جریان (K_c): حالات اندازه‌گیری شده و فشار ته چاهی (خط ممتد، آبی)، محاسبات (خط تیره، قرمز) و مقادیر نمودارگیری برای p_{bit} (خط چین، مشکی)



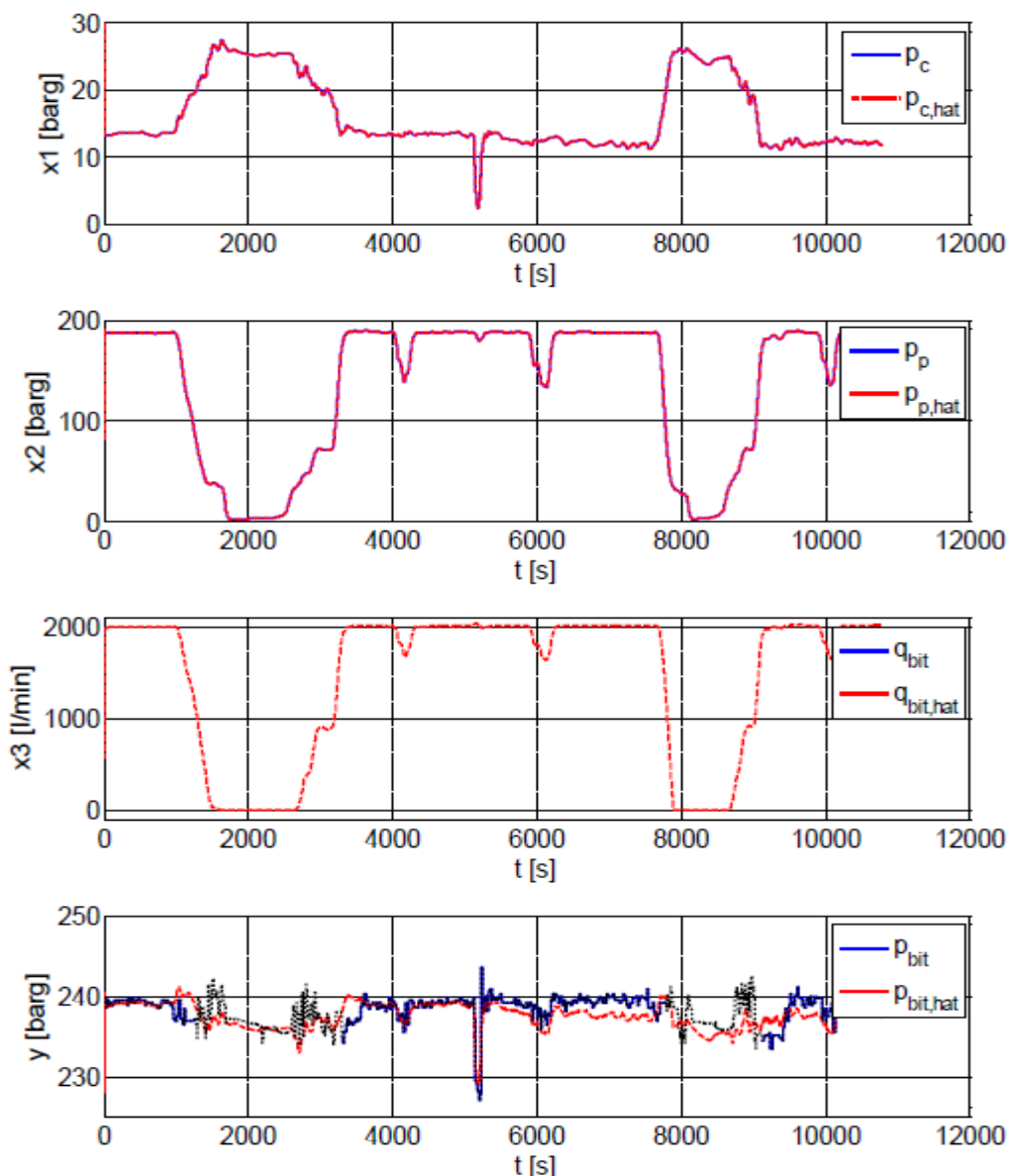
شکل ۴،۳۰: MHE ترکیب شده با UKF، همراه با تطبیق شاخص بهره وری جریان (K_c) : K_c تطبیق داده شده (خط تیره، قرمز) و K_c تنظیم شده به صورت Offline (خط ممتد، آبی)



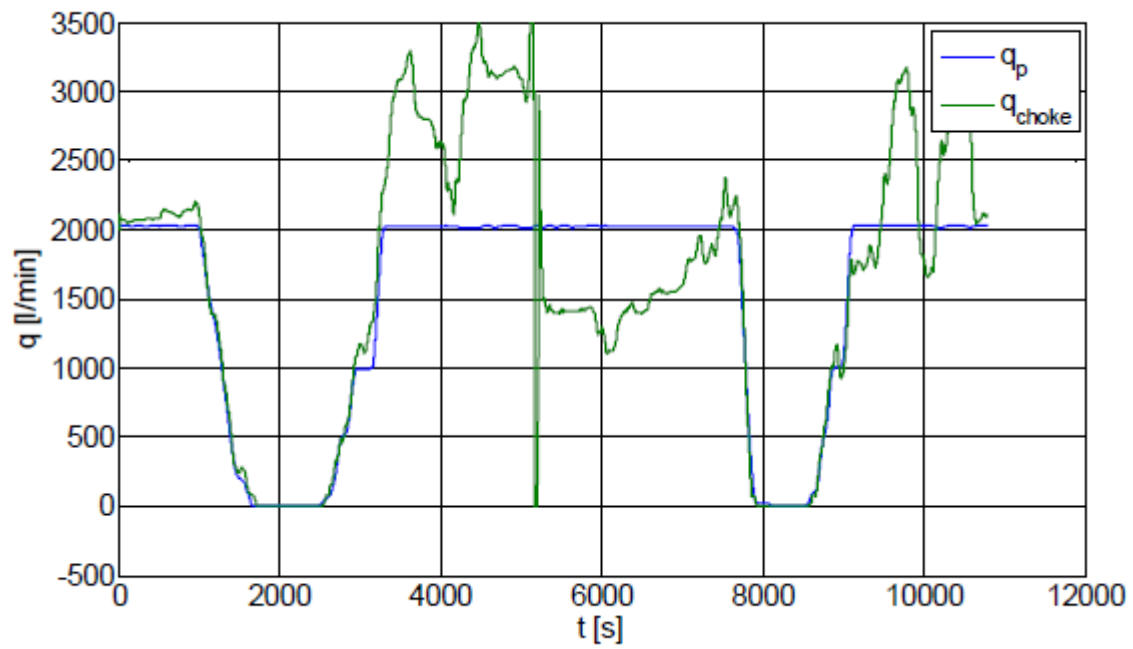
شکل ۴،۳۱: MHE ترکیب شده با UKF، همراه با تطبیق شاخص بهره وری جریان (K_c) : حجم جریان در پمپ (خط ممتد، آبی) و حجم جریان در Choke (خط ممتد، سبز)

۴,۶,۴ استفاده از UKF برای بدست آوردن \hat{x}_t از $x_{t-N,t}^0$

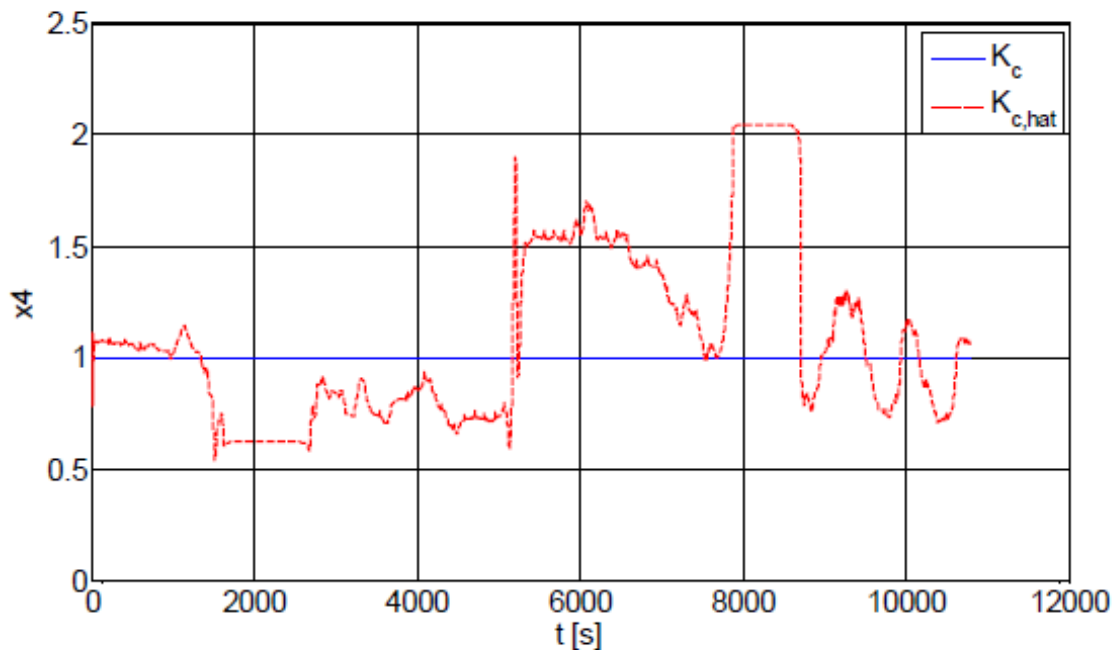
شکل ۴,۳۲ نشان می‌دهد که چگونه روش ساده ترکیب نویز در مشاهده گر افقی متحرک کار می‌کند. دوباره، نتایج از دفعه قبل زیاد تغییر نمی‌کنند و در ذهن می‌ماند که در افزایش بارگذاری محاسباتی، این مشاهده گر، فراتر از هیچ کدام از انتظارات عمل نمی‌کند. به هر حال، نتایج به اندازه‌ای که می‌توانند نزدیک به برخی از درهای باز فراوان باشند و جستجو برای یک مشاهده گر بهتر را محدود کنند، مهم هستند.



شکل ۴,۳۲: استفاده از UKF برای بهینه سازی \hat{x}_t از $x_{t-N,t}^0$ به همراه انطباق شاخص بهره وری جریان K_c : حالات اندازه-گیری شده و فشار ته چاهی (خط ممتد، آبی)، محاسبات (خط تیره، قرمز)، مقادیر نمودارگیری برای P_{bit} (خط چین، مشکی)



شکل ۴,۳۳: استفاده از UKF برای بهینه سازی $\hat{\mathbf{x}}_t$ از $\mathbf{x}_{t-N,t}^0$ به همراه انطباق شاخص بهره وری جریان \mathbf{K}_c : \mathbf{K}_c تطبیق داده شده (خط تیره، قرمز)، \mathbf{K}_c تنظیم شده به صورت Offline (خط ممتد، آبی)



شکل ۴,۳۴: استفاده از UKF برای بهینه سازی $\hat{\mathbf{x}}_t$ از $\mathbf{x}_{t-N,t}^0$ به همراه انطباق شاخص بهره وری جریان \mathbf{K}_c : حجم جریان در پمپ (خط ممتد، آبی)، حجم جریان در Choke (خط ممتد، سبز)

۴,۷ سنجش پیچیدگی زمان

تقریباً برای همه سیستم‌هایی که از یک مشاهده‌گر استفاده می‌کنند، نیازهایی بر روی پیچیدگی زمان وجود دارد که باید آن‌ها را ببینیم. برای سناریوی حفاری آمده در این پایان نامه، محاسبات در هر زمان که مقادیر جدیدی برای p_p و p_c در دسترس باشد، در هر ثانیه دقیق‌تر می‌شوند. در نتیجه، به شدت مطلوب است که هر تکرار برای مشاهده‌گر از یک ثانیه تجاوز نکند. البته، اجراها و شبیه سازی های صورت گرفته در MATLAB پتانسیل بسیار بالایی برای اصلاح دارند، اما تحلیل‌های پیچیدگی زمان هنوز یک تصویر مهم از این که چگونه به کار گیری مشاهده‌گر در زمان واقعی دست یافتنی است رسم می‌کند.

جدول ۴,۲: پیچیدگی زمان برای هر طرح محاسباتی، همگی به همراه یکپارچه سازی گام زمانی $\Delta t=0.2$

مشاهده گر	افق	زمان / تخمین
MHE	40	$\approx 0.5s$
MHE + K_c	40	$\approx 0.7s$
MHE + K_c , ρ_a and θ_1	40	$\approx 1.5s$
MHE + K_c + adaptive friction model	40	$\approx 7s$
UKF	-	$\approx 0.04s$
UKF + K_c	-	$\approx 0.04s$
UKF + K_c , ρ_a and θ_1	-	$\approx 0.05s$
UKF using last measurement	-	$\approx 0.04s$
MHE + K_c + prefiltration w/UKF	40	$\approx 1s$
MHE + K_c + covariance weighting	40	$\approx 1.3s$
MHE + K_c + integrated UKF	10	$\approx 3.7s$
MHE + K_c + iteration with UKF	40	$\approx 4.7s$

جدول ۴,۲ مقادیر تخمینی را برای شبیه سازی‌های انجام شده در تمام طول ۱۰۷۹۵ ثانیه (تقریباً ۳ ساعت) سناریوی حفاری ایجاد شده بر اساس اطلاعات Grane را نشان می‌دهد. اعداد از یک عملیات راندن منحصر به فرد گرفته شده و باید به عنوان داده‌های آزمایشی در نظر گرفته شوند و فقط شامل اهداف مباحثاتی می‌شوند، اختصاصاً برای MHE، در جایی که سنگینی تابع هزینه به شدت بارگذاری محاسباتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین، وظایف دیگری که رایانه در حین شبیه سازی انجام می‌دهد بر زمان اجرا تأثیر می‌گذارد. ارقام درون جدول به طور شفاف نشان می‌دهد که با توجه به پیچیدگی محاسبات، فیلتر بدون بو کالمن به مراتب بهتر از مشاهده گر افقی متحرک می‌باشد. برخی از شبیه سازی‌ها که به وسیله انواع گوناگون مشاهده گر افقی متحرک انجام گردید، از زمان متوسط جالب توجه ۱ ثانیه تجاوز کرد، در حالی که فیلتر بدون بو کالمن حتی به این زمان نزدیک هم نیست. به طور ویژه، مشاهده گرهای افقی متحرک بدون هیچگونه تطبیق و با تطبیق K_c در مدت زمان مورد نیاز خوب است، در حالی که اضافه کردن تطبیق ρ_a و θ_1 نشان می‌دهد که تنها متت نیاز به محاسبات بسیار زیادی دارد. به هر حال، اجرا کردن در یک مرحله پایین تر به احتمال زیاد کارایی را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد، لذا افزایش اندک قابل قبول است.

نتیجه و کار آینده

به منظور نتیجه گیری، برخی از جنبه‌های محاسبه فشار ته چاهی در این پایان نامه مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت. ابتدا، "محاسبه فشار ته چاهی با استفاده از تطبیق پارامتر و نویز فرآیند مدل سازی شده در حین حفاری" در واگذاری به نویسنده پروژه مورد تأیید قرار گرفته و کار به وسیله Marcel و همکاران صورت گرفت [19] انجام محاسبات خوب و این امر که مشاهده گر افقی متحرک غیر خطی منظم شده یک توانایی منحصر به فرد در تطبیق پارامترهای غیر قطعی در مدل دارد.

دوم، یک مدل اصطکاک دیگر آمده، استفاده از روش توابع پایه و شبیه سازی های انجام شده می باشد. این تلاش منجر به ایجاد شکست کامل در این باور که غیرممکن است که محاسبات رضایت بخشی به دست آید گردید، اما این امر غیر قابل انتظار نبود، زیرا کارهای مشابه نیز همان نتیجه را نشان می داد.

سوم، مهم ترین امر این است که نشان می دهد که فیلتر بدون بو کالمن یک مشاهده گر ساده و دقیق می باشد که به اندازه مشاهده گر افقی متحرک مناسب می باشد، و به وسیله اعتراف به این امر که بیشتر کارهای انجام شده بر روی فیلتر بدون بو کالمن عملکرد فیلتر کالمن محدود شده را بهتر کرده است، لذا UKF یک گزینه خوب برای محاسبات ته چاهی می باشد. پیش بینی شده بود که فیلتر بدون بو کالمن هنگامی که برخی از پارامترها تطبیق داده شد، موضوع مشاهده ای جزئی خواهد داشت و صحت این مسئله در شبیه سازی ها اثبات گردید. به هر حال، اهمیت توانایی محاسبه پارامترها به صورت Online قابل توجه است، به طوری که ناحیه ای برای کارهای آینده و ایجاد پیشرفت محسوب می شود. فیلتر بدون بو کالمن به طور خاص در حین حفاری منظم کارایی مناسبی داشت اما همان طور که انتظار می رفت، با همان مشکلاتی که مشاهده گر افقی متحرک در هنگام اتصال لوله ها با آن مواجه بود، برخورد کرد. هنوز بزرگترین انحراف ها در محاسبات در حین توقف و شروع مجدد جریان گل، یعنی در جایی که رفتار نوسانی که ممکن است مدل نشده هم باشد، یا این که مهار آن توسط تنظیم کلی مناسب غیرممکن باشد، مشاهده گردید. در این رابطه با اجازه دادن به UKF برای استفاده از آخرین مقادیر pbit برای محاسبه در شکاف زمانی ۲۰ ثانیه ای میان هر به روز رسانی دیده شد، که تنظیم جایگزین باید استفاده گردد و رفتار نوسانی می بایست مهار شود.

در آخر، چند ترکیب از هر دو مشاهده گر امتحان گردید، اما متأسفانه هیچ کدام از آن ها به طور خاص نتایج خوبی ارائه ندادند: با پیش فیلتر کردن \bar{X}_{t-N} که در مشاهده گر افقی همراه با یک فیلتر بدون بو کالمن یک مرحله ای به جای انتشار شبیه سازی شده معمولی استفاده گردید، محاسبات نزدیک شدن سریعی را به ناحیه ای از مقادیر نشان دادند. استفاده از اطلاعات کوواریانس ایجاد شده به واسطه UKF یک مرحله ای، به گونه ای که وزن در مشاهده گر افقی متحرک نتایج خوبی را در کار نشان داد، اما راندمان شبیه سازی ها را در

این پایان نامه افزایش نداد. ترکیب دو مشاهده گر به طور کامل، استفاده از فیلتر بدون بو کالمن به جای بازگو کردن مدل در جلوی شکل بهینه سازی حل شده توسط مشاهده گر افقی متحرک، فقط برای این ثابت شد که محاسباتی و خواستار هیچ گونه اصلاحاتی در محاسبات باشد. یک روش ساده تر این است که در حالی که مشکلات بهینه سازی به طور معمول ایجاد شده اند، اما تکرار از یک مرحله قبل محاسبه بهینه N تا یک محاسبه معمول انجام شده توسط UKF، هیچ نوسانی را به دست نمی دهد. روشن است که فیلتر بدون بو کالمن یک گزینه مناسب برای محاسبه فشار ته چاهی در حین حفاری است.

البته با توجه به مشکلات موجود در این پایان نامه، غیر از آن هایی که قبلاً بدان ها اشاره گردید، در این جا باید کارهای زیادی انجام شود. ممکن است به نظر برسد که مثل این که اصلاحات انجام شده بر روی مدل ساده Kaasa نیاز به افزایش کارایی بیشتری نسبت به هر مشاهده گر استفاده شده دیگر دارد. همچنین، در حال حاضر مقداری فعالیت بر روی کنترل کننده های مناسب برای فشار ته چاهی برای مقداری مدل های بالاتر که نیاز به یک محاسبه گر با دقت کافی دارند در حال انجام است و جفت کردن هر دو کار جالبی است، به خصوص هنگامی که همه مشاهده گرهای امتحان شده در این پایان نامه به خوبی با شاخص بهره وری جریان K_c تطبیق داده شدند، که مشخصات Choke دقیق تری برای کنترل کننده به ما می دهد. با داشتن زمان بیشتر، آزمایش های اولیه و شبیه سازی ها باید انجام گردند، اما نویسندگان مطمئن است که نامزدها و محققان در آینده این موضوع را تکمیل خواهند کرد.

مرجع‌ها و مأخذها

- [1] Jr. Arthur E. Bryson and Yu-Chi Ho. Applied Optimal Control: Optimization, Estimation and Control. Taylor I& Francis.
- [2] Sui Dan and Tor A. Johansen. Moving horizon observer with regularization for detectable systems without persistence of excitation. 2010.
- [3] Moritz Diehl, Hans Joachim Ferreau, and Nils Haverbeke. Efficient numerical methods for nonlinear mpc and moving horizon estimation. 2009.
- [4] J. E. Gravdal, R. J. Lorentzen, K. K. Fjelde, and E. H. Vefring. Tuning of computer model parameters in managed-pressure drilling applications using an unscented-kalman-filter technique. 2005.
- [5] SPT Group. Olga. <http://www.sptgroup.com/en/Products/olga/Multiphase-Flow-Simulator/>, December 2010. [cited 19 Dec 2010].
- [6] IEA. Share of total primary energy supply in 2008. http://www.iea.org/stats/pdf_graphs/29TPESPI.pdf. [cited June 8th, 2011].
- [7] Lars Imsland. Modeling of drilling hydraulics for adaptive pressure estimation. 2008.
- [8] Simon J. Julier and Jeffrey K. Uhlmann. A general method for approximating nonlinear transformations of probability distributions. 1996.
- [9] Simon J. Julier and Jeffrey K. Uhlmann. Unscented filtering and nonlinear estimation. 2004.
- [10] Simon J. Julier, Jeffrey K. Uhlmann, and H.F. Durrant-Whyte. A new approach for the nonlinear transformation of means and covariances in linear filters. 1996.
- [11] G. O. Kaasa. A simple dynamic model of drilling for control. 2007.
- [12] Rambabu Kandepu, Bjarne Foss, and Lars Imsland. Applying the unscented kalman filter for nonlinear state estimation. 2007.
- [13] Hassan K. Khalil. Nonlinear Systems Third Edition. Prentice Hall.
- [14] Ingar Landet. Advanced modeling for managed pressure drilling, 2010.
- [15] J. M. Maciejowski. Predictive Control with Constraints. Pearson Education Limited.
- [16] G. Nygaard, L. Imsland, and E. A. Johannessen. Using nmPC based on a low-order model for controlling pressure during oil well drilling. 2007.

- [17] G. H. Nygaard, E. Johannessen, and F. Iversen J. E. Gravdal. Automatic coordinated control of pump rates and choke valve for compensating pressure fluctuations during surge-and-swab operations. 2007.
- [18] TOMLAB Optimization. Tomlab. <http://tomopt.com/tomlab/>.
- [19] Marcel Paasche. Nonlinear moving horizon estimation of bottomhole pressure during oil drilling, 2011. [not yet published, June 8th, 2011].
- [20] Marcel Paasche, Tor A. Johansen, and Lars Imsland. Estimation of bottomhole pressure during oil well drilling using regularized adaptive nonlinear moving horizon observer. 2010.
- [21] Christopher V. Rao, James B. Rawlings, and David Q. Mayne. Constrained state estimation for nonlinear discrete-time systems: Stability and moving horizon approximations. 2003.
- [22] C. E. Shannon. The mathematical theory of communication. 1948.
- [23] Oyvind Nistad Stamnes. Adaptive observer for bottomhole pressure during drilling, 2007.
- [24] Oyvind Nistad Stamnes, Jing Zhou, Glenn-Ole Kaasa, and Ole Morten Aamo. Adaptive observer design for the bottomhole pressure of a managed pressure drilling system. 2008.
- [25] Bard Arve Valstad. Parameter estimation and control of a dual gradientmanaged pressure drilling system, 2009.
- [26] Rudolph van der Merwe. Sigma-point kalman filters for probabilistic inference in dynamic state-space models. 2004.
- [27] Liu Xuanchao and Cheng Guojian. The research of information and power transmission property for intelligent drillstring. 2010.

Abstract

To avoid hole stability problems in an increasingly fierce drilling environment, the demand for accurate control of the pressure profile during drilling operations is rising. As standard instrumentation of drilling rigs have poor measurement of the bottom hole pressure, there is a need for estimation. However, a precise model of a drilling process is difficult to obtain, so a competent observer, using a simpler, lower order model, should be satisfactory.

In this master thesis several approaches on estimation are discussed together with a suggested improvement in the annular friction model. The estimators tested are: First, the moving horizon observer, which is presented together with prior work by the author and co workers; Second, the unscented Kalman filter, which is a new estimation candidate introduced together with regularization to compensate for the slow update and lack of availability in bottom hole pressure measurements. Last, different combinations of the two observers are proposed.

All observers are tested in simulations and good performance is found for both the MHE and UKF. Parameter adaptation is found to be effective for both observers, but the UKF encounters some minor observability issues when the system is not sufficiently exciting. Different combinations of the two observers increase computational complexity, unfortunately without achieving better accuracy in estimates. The estimates are deteriorated when the alternative friction model is tested, and it is thus considered a failed attempt to improve the simple third order Kaasa model.

Abbreviations

BHP	Bottom Hole Pressure
IADC	International Association of Drilling Contractors
MPD	Managed Pressure Drilling
UKF	Unscented Kalman Filter
MATLAB	Matrix Laboratory
RNMHE	Regularized Moving Horizon State Estimator



Islamic Azad University of Omidieh

Faculty of Engineering

Department of Petroleum Engineering

B.Sc. Thesis

**Estimation of Bottomhole Pressure for
Managed Pressure Drilling
(Comparison of Nonlinear Estimators)**

Supervisor:

Alireza Moazzeni

By:

Jalal Alali

2014/08/11