

## Türkiye İle İran Arasındaki HVDC Back To Back Sisteme İlişkin Taşınabilir Güvenli DA Güç ve Bağlı Hatların Arıza Analizi

Vedat Taşdemir<sup>1</sup>, Mehmet Emin Meral<sup>2</sup> ve Doğan Çelik<sup>\*3</sup>

<sup>1</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Fen Bilimleri Enstitüsü, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van 65080, Türkiye

<sup>2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Fen Bilimleri Enstitüsü, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van 65080, Türkiye

<sup>3</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Fen Bilimleri Enstitüsü, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van 65080, Türkiye

*\*([dogancelik@yyu.edu.tr](mailto:dogancelik@yyu.edu.tr)) Başlıca yazarın mail adresi*

**Özet** – Bu çalışmada, Türkiye ve İran arasında kurulmuş olan 600 MW HVDC (high voltage direct current/yüksek gerilim doğru akım) B2B (back to back/sırt-sırta) dönüştürücü merkezin çalışma prensibi analiz edilerek bağlı hatlarda B2B sistemin devrede olması ya da olmaması durumlarında meydana gelebilecek arızalar incelenmiştir. HVDC-B2B dönüştürücü merkezin çalışabilir güvenli güç aralığı ve bağlı bulunduğu AA şebekenin, kısıtlılık durumunda yani iletim sisteminin herhangi bir ekipmanının veya birbirlerine bağımlı ekipman grubunun arıza nedeniyle devre dışı olması hali, belli analizler yapılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca B2B dönüştürücü merkezin devrede olduğu zamanda şebekeye bağlı mayor ve minor hat yüklenmeleri gözlemlenmiş sistemin güvenli yük akış durumları incelenerek sistem için belli çalışma dönemlerinde önem arz eden hatların genel durum değerlendirmeleri yapılmıştır. Son olarak sistemin mevcut 400 kV hatlara getireceği avantajlar ve dezavantajlar irdelenmiş, güvenli şebeke durumu için yapılması gereken yatırım durumları ele alınmıştır. Elde edilen analizler Digsilent Power Factory programında tasarlanan modeller üzerinden yapılmıştır.

*Anahtar Kelimeler – HVDC, Back To Back Dönüştürücü, Arıza Analizi*

### I. GİRİŞ

Enerji kavramının her geçen gün dünyada daha fazla yer edinmesiyle birlikte Türkiye'nin de bu gelişime ayak uydurabilmesi önemlidir. Teknolojinin gelişmesi enerji ihtiyacını ve kullanımını arttırmış, artan bu enerji ihtiyacının da kayıpsız olarak iletebilmesi gerekmektedir. HVAC (high voltage alternating current/yüksek gerilim alternatif akım) sistemlerle ithal edilen enerjinin Türkiye enterkonnekte iletim sisteminde arıza ve frekans dalgalanmalarıyla karşılaşmamak için HVDC (high voltage direct current/yüksek gerilim doğru akım) B2B (back to back/sırt-sırta) sistemler vasıtasıyla entegre edilmesi gerekmektedir. HVDC-B2B sistemler henüz ülkemizde yaygın değildir, şuana kadar sadece ülkeler arası dönüştürücü merkez olarak; Gürcistan tarafında bulunan Akhaltsikhe 2x350 MW B2B ve Türkiye-İran arasında Türkiye tarafında bulunan Van 600MW

B2B dönüştürücü merkezler tesis edilmiştir. Bu sistemler frekans-faz uyumu, güç kalitesi ve şebeke güvenilirliği amacıyla esasen B2B dönüştürücü amacını içermekte ve temel olarak uzak bölgelere HVDC iletim amacını gütmemektedir. Fakat ilerleyen yıllarda hem N-1 kısıtlılık durumunun [1] iyileştirilmesi hem de üretilen enerjinin daha az kayıpla uzak sanayi bölgelerine taşınmasında kullanılacak olan HVDC iletim sistemlerine ilişkin dönüştürücü merkez sayısının artması ve Türkiye enerji iletim şebekesine dâhil olması beklenmektedir.

Modern güç sistemlerinin çok karmaşık yapıda olmaları, bunun yanında artan talepleri uygun maliyet ve kabul edilebilir kalitede yerine getirmeleri gerekmektedir, ekonomik ve çevresel faktörler enerji merkezlerinin yerleşim yerlerine uzak olmasını zorunlu kılmaktadır. Bu sorunda etkili yüksek güç, yük akışı kontrollü alternatif akım (AA) iletim ağları sayesinde düzenli gerilim

taşınmasıyla sağlanır, bunun içinde FACTS (hassas alternatif akım iletim sistemleri) adı verilen değişikliklerin kolayca karşılanabileceği AA iletim sistemini zorlamadan güç elektroniği tabanlı ve diğer güç akışının ve gerilimin kontrol edilebilirliğini sağlayan statik ekipmanlar geliştirilmiştir [2]. Bu bağlamda FACTS cihazları enerji verimliliği ve sistem kararlılığı açısından AC sistemler için bir çözüm oluşturmaktadırlar [2, 3]. Güç sistemlerinde, HVDC ve FACTS sistemler modern güç sistemlerini kendi yöntemleriyle destekleyen önemli teknolojilerdir [4]. Enerji verimliliğini sağlamak ve sistem kararlılığını artırmak adına FACTS cihazlarına alternatif bir yol olan HVDC ile enerji iletimi seçeneği de vardır. HVDC sisteminde kullanılan yarı iletken teknolojisi sayesinde, enerji iletim sistemi seri bir şekilde kontrol edilebilir hale gelmektedir [5].

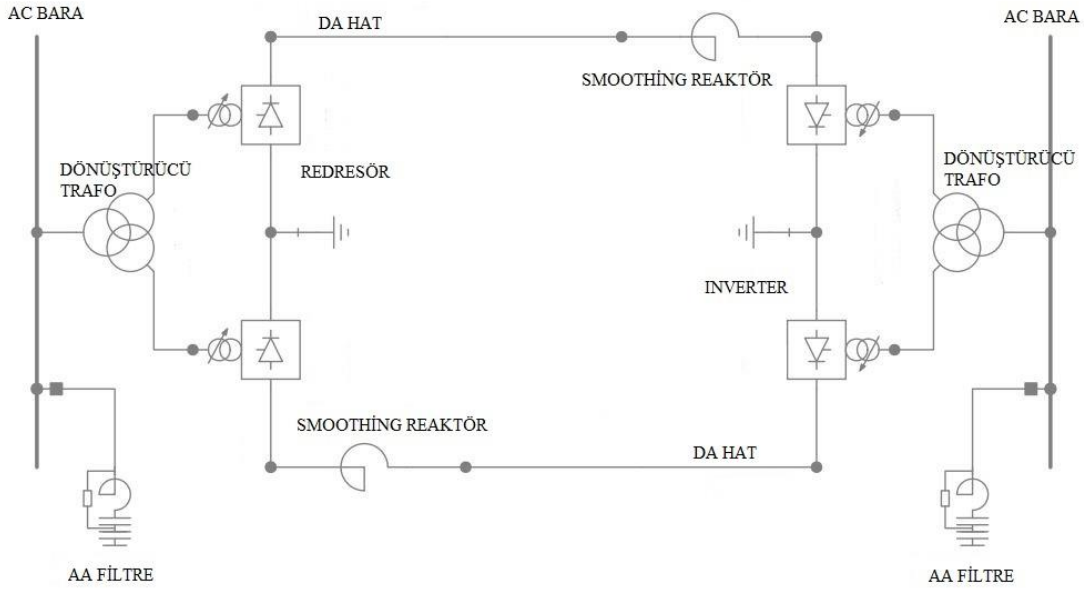
HVDC iletim şebekesi iki tür teknolojiye meydana gelmektedir: 1990' dan sonra ortaya çıkan ve dönüştürücülerin kontrolüne bağlı olarak kullanılan gerilim kaynaklı dönüştürücüler (GKD), çıktı ve akım kaynaklı dönüştürücülerdir [6]. Kullanım amacına göre hat komütasyonlu dönüştürücü (HKD) bağlantılar yaygın olarak kullanılır. Bundan dolayı HVDC iletimi ile ilgili teknolojiler daha verimli ve olgun hale geldi, buda temel GKD-HVDC iletim şebekesinin uygulanmasına ve gelişmesine bir yol sağlamıştır [5, 7, 8]. HVDC Gerilim kaynaklı dönüştürücüler uzun araştırma ve geliştirme sürecinden sonra uzun mesafede büyük güç iletimlerinde etkin bir seçenek olmuştur. HKD sistemlere göre tercih edilmesinin sebebi hem aktif hem de reaktif gücün bağımsız kontrol edilebilmesi ayrıca GKD sistemlerin

anahtarlama için harici bir kaynağa ihtiyaç duymamalarıdır. HKD sistemler ise anahtarlama için harici mekanik kaynağa ihtiyaç duyarlar [9, 10].

## II. HVDC-B2B SİSTEMİNİN TEMEL BİLEŞENLERİ VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

HKD B2B sistemler temel kontrol stratejisine göre ateşleme açısı hesabına dâhil olan güç-akım kontrolü olarak çalışmaktadır, her iki taraf da redresör ve inverter olarak çalıştırılabilir ancak inverter tarafı sabit HKD-HVDC sistem özelliği gereğince sönümlenme açısı ile kontrol edilmektedir. İlk anda çalışma sırasında inverter taraftan AA filtre bağlanır ve belirli bir açı(ateşleme) ve sürede redresör tarafına çalışması için müsaade gönderilir. İnverter taraftan gelen müsaade sinyalinden sonra redresör tarafına AA filtre bağlanır ve belirli bir açı ve sürede redresör tarafı devreye girer, redresör taraf devreye girdikten sonra (ateşleme) açısı düşürülerek doğru akım (DA) gerilim yükseltilmiş olur. Sonrasında istenilen enerji miktarının taşınması için gerekli güç veya akım değeri girilerek yük akışı başlatılmış olur [11].

Şekil 1' de gösterilen bileşenlerden DA hatlar, B2B sistem ile kıyaslandığında B2B DA kayıpların oldukça düşük olduğu görülür. Düşük gerilim ve yüksek akım dizaynına uygundur. transformatörlerin ve diğer cihazların izolasyon seviyelerini sağlamak daha kolaydır. Doğrultucu ve evirici aynı valf binasındadır. Dönüşüm boyunca harmoniklerin etkileri sınırlandırılabilir, DA filtrenin gerekliliğine ihtiyaç duyulmaz ve DA smoothing reaktör görece küçük boyutlu ve ucuzdur.



Şekil 1. HVDC sistemde bulunan bileşenler

#### A. Van B2B Merkez

Türkiye'nin doğusunda 2019 yılında Van ilinde kurulmasına başlanan ve 2021 yılında tamamlanan HVDC-B2B merkez 600MW güç değerinde olan bir sırt sırta dönüştürücü trafo merkezidir. Şekil 2'de gösterilen tek hat şemada olduğu gibi İran enerjisinin Türkiye'nin de üye olduğu ENTSO-E'ye şebekesine AA-DA ve DA-AA dönüşümleri yapılarak bağlanmakta ve bu anlamda kesintisiz enerji iletimini sağlamaktadır.

Yük durumunda redresör DA gerilimi ( $V_{dr}$ ) veya redresör modu; evirici DA gerilimi, ideal yüksüz DA gerilimi, tetikleme açısı ( $\alpha$ ) ve DA akım parametrelerine bağlı olarak Eş. 1 ile hesaplanmaktadır [3, 6].

$$V_{dr} = V_{di0} \cos \alpha - R_{cr} I_d \quad (1)$$

Burada  $R_{cr} = \frac{3}{\pi} \omega L_{cr}$ . Eş. 1' deki denklemde  $U_{di0}$  yüksüz DA gerilimi,  $I_d$  DA akımı ve  $R_{cr}$  redresör komütasyon direncini temsil etmektedir. Evirici modunda DA gerilimi ( $V_{di}$ ) sönümleme açısına ( $\gamma$ ) ve inverter komütasyon direncine  $R_{ci}$  bağlı olarak Eş. 2 ile hesaplanmaktadır.

$$-V_{di} = V_{di0} \cos \gamma - R_{ci} I_d \quad (2)$$

Dönüştürücü trafonun valf içerisinde bulunan AA geriliminin ( $U_{v0}$ ) yüksüz durum DA gerilime dönüştürme hesabı Eş. 3 ile hesaplanmaktadır.

Örneğin 380/80.5 kV bir dönüştürücü trafonu DA yüksüz gerilimi yaklaşık olarak  $U_{di0} = 108.71$  kV olarak hesaplanmaktadır.

$$U_{di0} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_{v0} \quad (3)$$

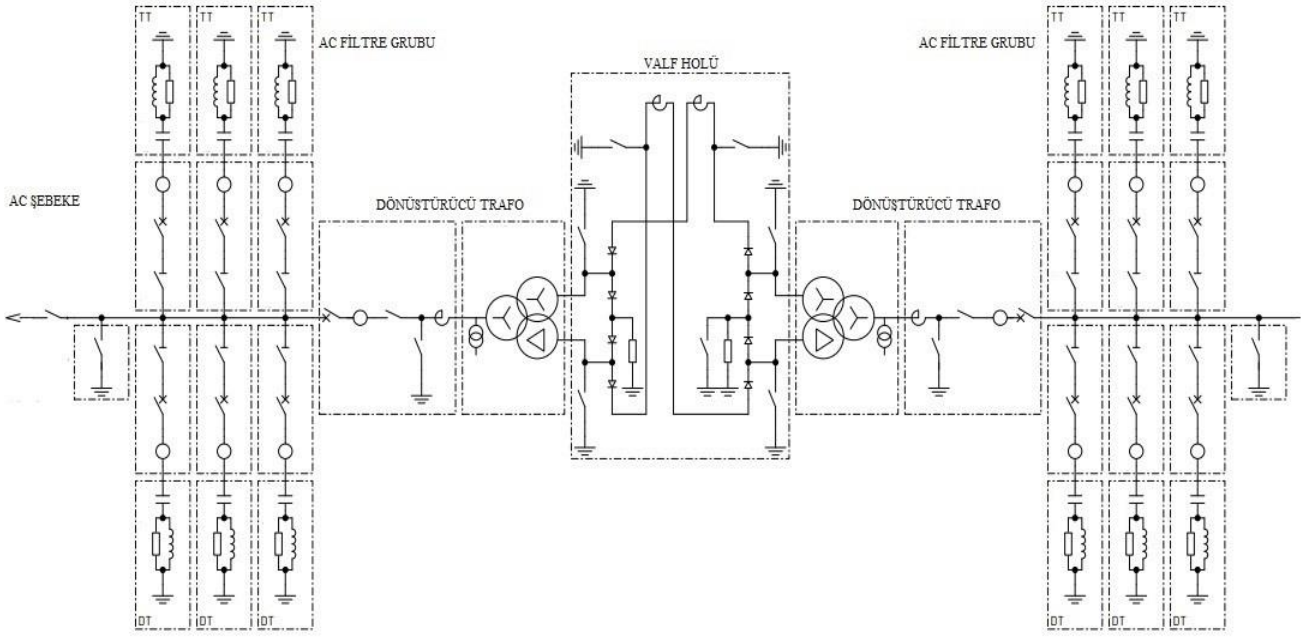
Toplam DA güç  $P_{da}$  yüklü durumdaki DA gerilimine  $U_d$  ve DA akımına bağlı olarak Eş. 4' de hesaplanmıştır.

$$\begin{cases} U_d = U_{dr} - U_{di} \\ P_{da} = I_d U_d \\ I_d = U_d / R_c \end{cases} \quad (4)$$

### III. BULGULAR

Türkiye'de şebeke planlamaları genellikle ilkbahar, yaz ve kış tepe değer yüklenme değerine dayanmaktadır. İlkbaharda bölgedeki hidrolik koşulları, ilkbahar dönemi üretim ve yüklenmeleri ile kış dönemi yüklenmeleri göz önüne alındığında İran'dan güvenli enerji ithalatı bu dönemlerdeki yüklenme koşullarını belirlemektedir. Şebeke koşulları iletim hattı trafo yatırımları göz önüne alındığında İran-Türkiye arasındaki enerji transferinin üst ve alt limitleri sağladığı varsayılmıştır.

Şekil 3' de bölge şebekesine uygulanan birçok arıza iterasyonundan biri olan B2B-Van2 hattına kış ve bahar dönemlerinde ayrı ayrı tek faz kısa devre arızası uygulanmıştır.



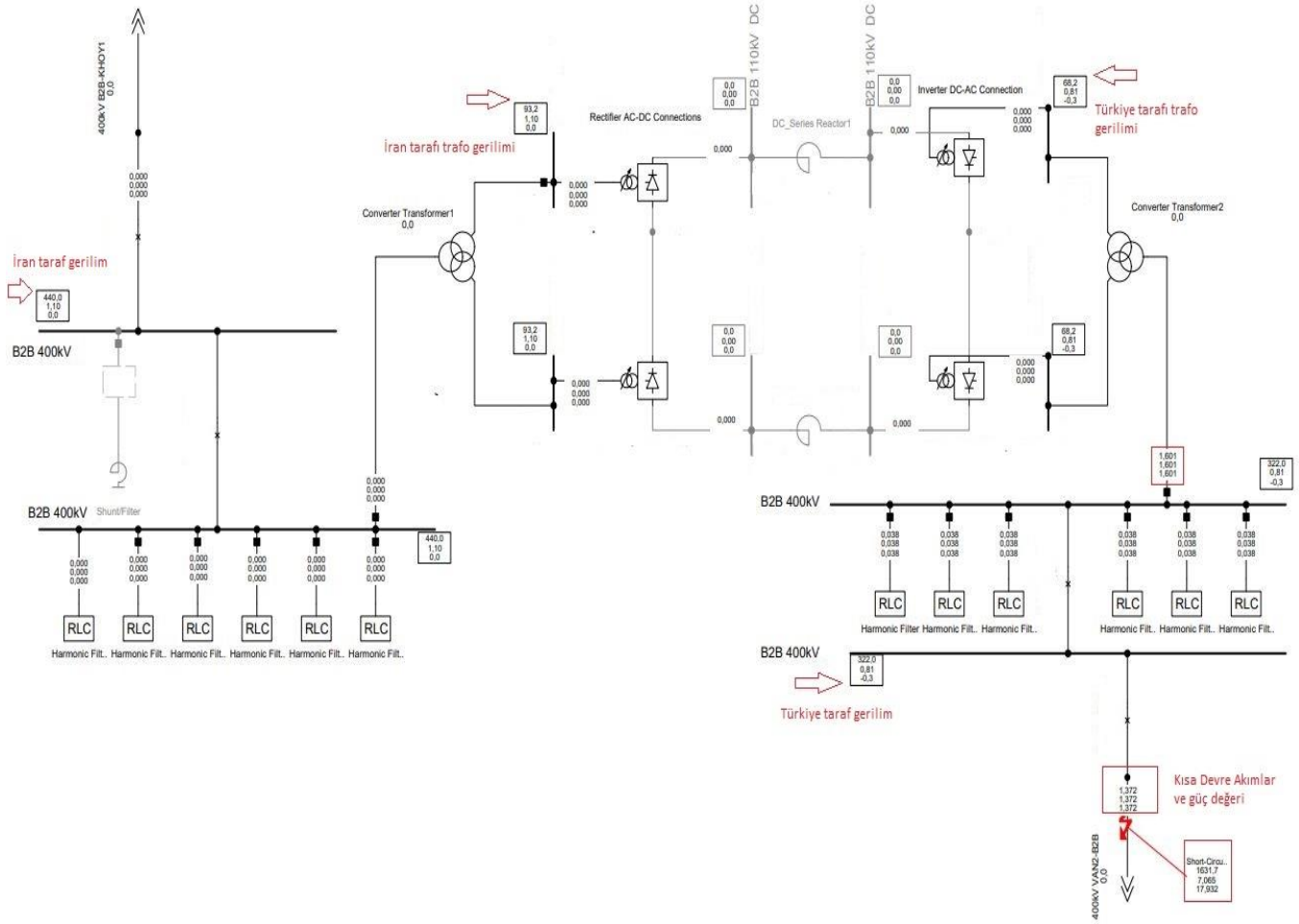
Şekil 2. Van B2B Merkezin genel görünüşü [12]

Türkiye şebekesine bağlantı noktası ve ithalat şartları göz önünde bulundurularak, B2B inverter yönü Türkiye tarafında olacak şekilde, hattın %50 si AC arıza yeri olarak seçilmiştir. Gerçekleştiren arıza neticesinde kış (21 Ocak 2022) dönemine ait Van2-B2B fideri kısa devre akımı 1543 A, bahar(07 Mayıs 2022) döneminde gerçekleştirilen arızada ise 1631,7 A seviyesindedir, Aynı şekilde hatlar üzerinde gerçekleştirilen arızalar neticesinde hesaplanan güvenli taşınabilir  $P_{DA}$  gücü ve bağlı hatların kısa devre akımları Tablo 1’de gösterilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken husus B2B devrede iken kuvvetli baraların (Van2-Ağrı2, Van2-Tatvan Sanal) arızayı güçlü beslediği zayıf baraların (Van2-Başkale 380) ise arızayı kaynak yetersizliğinden dolayı zayıf beslediği görülmüştür.

Şekil 3’de belirtilen fiderlerde yapılan arıza analiz sonuçlarına göre gerilimlerin arıza olan faz lehine bozulduğu ve şebekeye bağlı hatlarda kısa devre kaynaklı aşırı yüklenmeler meydana geldiği

görölmüştür. Ayrıca HVDC-B2B trafo merkezinin (TM) güç aktarımının fizibilitesi ve farklı arıza durumlarında taşınması muhtemel güvenli DC gücü şebeke kısa devre oranı ve etkin kısa devre oranına göre hesaplanıp analiz edilerek Tablo 1’de gösterilmiştir. Şebeke kısa devre MVA’lara göre  $P_{DA} = \frac{SCMVA - S_{filtre}}{ESCR}$  denklemi üzerinden hesaplanmıştır. MW cinsinden  $P_{DC}$  güvenli DA gücünü, MVar cinsinden  $S_{filtre}$  filtre gücü, MVA cinsinden SCMVA şebeke kısa devre gücünü ve ESCR etkin kısa devre oranını temsil etmektedir.

ESCR değeri AA-DA doğrultucu arasındaki bazı karmaşık ve değişken etkileşimleri değerlendirmek için hesaplanan orandır. Konvansiyonel hat frekansı değiştirmeli HVDC ara yüzlerinin sağlıklı çalışması için bir hesaplanan değer  $ESCR \geq 2,5$ ’tir [13].



Şekil 3. B2B TM' de B2B-Van2 hattı tek faz kısa devre arızası

Tablo 1. Hat arızalarına ilişkin kısa devre güç hesaplamaları

Fider Adı	VAN B2B dönüştürücü merkez			
	Durum1-21.01.2022		Durum2-07.05.2022	
	SCMVA	Güvenli $P_{DA}$ gücü	SCMVA	Güvenli $P_{DA}$ gücü
B2B-Van2 servis harici	1543.0	473,6	1631,7	508,7
Van2-Ağrı2 servis harici	1381.9	408,8	1453,6	437,4
Van2-Başkale 380 servis harici	1384.5	409,8	1459,3	439,7
Van2-Tatvan Sanal (Siirt 380-Alpaslan2 Hes) servis harici	1472.9	445,2	1552,8	477,1
Ağrı2-Erzurum Zeki Gürgen servis harici	2036.3	670.5	2254.1	757.6

\*B2B Merkezde 360 MVar Filtre bağlı olduğu varsayılmıştır.

Bu sonuçlara göre B2B merkezin çalışması gereken minimum güvenli güç aktarım değeri 408,8 MW' tır. Bu nedenle SCMVA gücünün B2B merkez  $P_{DA}$  güvenli çalışma değerlerine dikkat edilerek, olası bir komütasyon arıza durumu önlenmelidir.  $P_{DA} \geq 600$  MW durumunda ise herhangi bir komütasyon hata durumu beklenmez. Yine 600 MW lık bir ithalat veya ihracat durumunda, zayıf bir şebeke olarak öngörülen

bölgenin, 400kV iletim hatları üzerinde gerçekleştirilen arızalarda yükün güvenli taşınması için senaryolar analiz edilmiş ve iletim için güvenli hat koridorları ele alınmıştır. Oluşabilecek aşırı yük senaryosunda ise şebekedeki kararsız durumlarının giderilmesi için aşırı akım korumalarının ithalat veya ihracat yük durumları kademelerine göre ayar yapılması bu kararsızlığı giderebilecektir. Ayrıca

aşırı yük durum yüklenmelerinde gerekli özel korumalara da ihtiyaç duyulabilmektedir.

#### IV. SONUÇLAR

Bölgesel yüklenmelerin kış dönemine nazaran bahar döneminde daha yoğun olduğu görülmekte aynı dönemde B2B merkez üzerinden gerçekleştirilen yük transferi de bu yoğunluğu arttırmaktadır. Yük yoğunluğunun artmasıyla bölge şebekesinde, Van2-Ağrı2 ve Van2-Tatvan Sanal hatlarının iki ana koridor görevi gördüğü bu hatlardan herhangi birinin servis harici olması durumunda kalan hatta yük iletimi açısından N-1 güvenlik hassasiyetinin arttığı görülmektedir. Van2-Başkale380 hattının radyal olması nedeniyle bu koridor üzerinden B2B ithalat kaynaklı yük iletilmemektedir. Kritik senaryolardan biride Van2-Tatvan Sanal hattının kaybedilmesidir, bu durumda yük akışının yönü tersine dönmekte ve bölge hatlarında aşırı yüklenmeye sebebiyet vermektedir. Bir diğer kritik senaryoda ise iki ana koridor olan Van2-Ağrı2 ile Van2-Tatvan Sanal hatlarının kaybedilmesidir. Bu durum bölge 154kV hatlar üzerinde aşırı yüklenmeye, gerilim dalgalanmalarına ve koordinasyonda bozulmalara sebebiyet vermektedir. Bahar mevsiminde Kuzey Doğu Anadolu ve bölgesel hidro elektrik üretimi dikkate alındığında 600MW'lık bir ithalat pek mümkün gözükmemektedir, çünkü böyle bir durum Türkiye şebekesinde büyük yüklenmelere yol açmakta ve bölge için N-1 güvenlik endişesi vermektedir.

Yapılan analizler neticesinde B2B istasyon için taşınması gereken güvenli DA gücü uygulanan hat arıza SCMVA değerlerine göre belirlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında AA şebekenin zayıf olduğu görülmekte ve şebekenin kararlı ve güvenilir duruma getirilmesi için iletim yatırımları ile desteklenmesi gerekmektedir. Bu açıdan B2B merkezin çalışması içinde gerekli N-1 şebeke güvenliği de sağlanmış olacaktır.

#### V. KAYNAKLAR

- [1] EPDK, Elektrik Şebeke Yönetmeliği, <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/223/mevzuat>, 2022
- [2] Padiyar, K.R., FACTS Controllers in Power Transmission and Distribution, *New Age International Publishers*, New Delhi, 2007.
- [3] Kundur, P., Power System Stability and Control, McGraw-Hill Inc., California, 1994.

- [4] G.C. Loehr and A. Casazza (Edited), "The evolution of electric power transmission under deregulation: Selected readings", *IEEE Press*, ISBN: 0780348079, 1999.
- [5] Agelidis, V.G., Demetriades, G.D. ve Flourentzou, N., "Recent Advances in High Voltage Direct Current Power Transmission Systems", School of Electrical, Energy and Process Engineering, Murdoch University, Perth, 2006.
- [6] Sood, V.K., HVDC and FACTS Controllers Applications of Static Converters in Power Systems, *Kluwer Academic Publishers*, Boston, 2004.
- [7] Bahrman, M. P., Johnson, B -K. The ABCs of HVDC transmission technologies. *IEEE Power Energy Mag.* 5, 32–44, 2007.
- [8] Rudervall, R.; Charpentier, J.P.; Sharma, R., High voltage direct current (HVDC) transmission systems technology review paper. *Energy Week 2000*, 1–19, 2000.
- [9] Flourentzou, N.; Agelidis, V.-G.; Demetriades, G.-D., VSC-based HVDC power transmission systems: An overview. *IEEE Trans. Power Electron.* 592–602, 2009.
- [10] Raza, A.; Xu, D.-G.; Su, X.-W.; Li, W.-X.. Invasion of high voltage direct current till 2014. *In Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Control Science and Systems Engineering*, Yantai, China, ,29–30 December 2014.
- [11] Javad K., Peter I. , Arash A. , AB S. , Lakshan P., Review of HVDC control in weak AC grids, 2018.
- [12] TEİAŞ.(Türkiye Elektrik İletim A.Ş.) B2B proje, 2019-2022.
- [13] C.K. Kim, V. K. Sood, G.S. Jang, S.J. Lim and S.J. Lee, HVDC Transmission: Power Conversion Applications in Power Systems, Singapore: Wiley, 2009.